



Grupo Intergubernamental de Expertos
sobre el Cambio Climático



Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

Volumen 3

Procesos industriales y uso de productos

Editado por Simon Eggleston, Leandro Buendia,
Kyoko Miwa, Todd Ngara y Kiyoto Tanabe



Programa de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero del IPCC

Informe confeccionado por el Equipo de tareas sobre los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (TFI) del IPCC y aceptado por el Grupo de expertos, pero no aprobado en detalle

Si bien se considera que la información contenida en el presente informe del IPCC es correcta a la fecha de impresión, ni los autores ni los editores asumen responsabilidad alguna en caso de existir errores u omisiones. Asimismo, ni los autores ni los editores se responsabilizan por la inexistencia de algunas direcciones URL mencionadas en el presente informe, ni garantizan que el contenido de dichos sitios Web sea o se mantenga exacto o correcto.

Publicado por el Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES), Hayama, Japón, en nombre del IPCC

© The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006.

La cita de las directrices como referencia debe ser la siguiente:

IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds).
Published: IGES, Japón.

Programa de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero del IPCC
Dependencia de Apoyo Técnico

% Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES)
2108 -11, Kamiyamaguchi
Hayama, Kanagawa
JAPÓN, 240-0115

Fax: (81 46) 855 3808
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>

Traducido del inglés por International Translation Agency Ltd (ITA Ltd) - Malta

Impreso en Francia

ISBN 92-9169-320-0

VOLUMEN 3

PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS

Autores principales coordinadores

Jochen Harnisch (Alemania) y William Kojo Agyeman-Bonsu (Ghana)

Editores de la revisión

Jamidu H. Y. Katima (Tanzania) y Audun Rosland (Noruega)

Índice

Volumen 3 Procesos industriales y uso de productos

Parte 1

- Capítulo 1 Introducción
- Capítulo 2 Emisiones de la industria de los minerales
- Capítulo 3 Emisiones de la industria química
- Capítulo 4 Emisiones de la industria de los metales

Parte 2

- Capítulo 5 Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente
- Capítulo 6 Emisiones de la industria electrónica
- Capítulo 7 Emisiones de los sustitutos fluorados para las sustancias que agotan la capa de ozono
- Capítulo 8 Manufactura y utilización de otros productos
- Anexo 1 Hojas de trabajo
- Anexo 2 Emisiones potenciales (Anteriormente Nivel 1 para consumo de HFC, PFC, y SF₆)
- Anexo 3 Mejoras desde 1996
- Anexo 4 Glosario para el sector de procesos industriales y uso de productos

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Autores

Secciones 1.1 y 1.2

Jochen Harnisch (Alemania) y William Kojo Agyeman-Bonsu (Ghana)

Secciones 1.3 y 1.4

Timothy Simmons (Reino Unido), Jos G. J. Olivier (Países Bajos), Domenico Gaudioso (Italia), Michael Gillenwater (Estados Unidos), Chia Ha (Canadá), Leif Hockstad (Estados Unidos), Thomas Martinsen (Noruega), Maarten Neelis (Países Bajos), y Hi-chun Park (República de Corea)

Sección 1.5

Deborah Ottinger Schaefer (Estados Unidos)

Autores colaboradores

Sección 1.2

Maarten Neelis (Países Bajos), Jos G. J. Olivier (Países Bajos), y Timothy Simmons (Reino Unido)

Secciones 1.3 y 1.4

Martin Patel (Países Bajos)

Índice

1	Introducción	1.5
1.1	Introducción	1.5
1.2	Cuestiones generales e interdisciplinarias.....	1.7
1.2.1	Definición de los procesos industriales y de las emisiones provenientes de la quemada de combustibles	1.7
1.2.2	Captura y reducción	1.7
1.2.3	Precusores	1.9
1.2.4	N ₂ O indirecto	1.9
1.2.5	Fuentes internacionales de datos	1.9
1.3	Naturaleza de los usos no energéticos de los combustibles fósiles	1.12
1.3.1	Tipos de utilización	1.12
1.3.2	Contabilización de los usos de combustibles fósiles como sustancias para la alimentación a procesos y como reductores y de sus emisiones de CO ₂	1.13
1.3.3	Emisiones provenientes de los procesos de refineras.....	1.16
1.4	CC de la exhaustividad y atribución del CO ₂ proveniente de usos no energéticos.....	1.16
1.4.1	Introducción	1.16
1.4.2	Rango de aplicabilidad de los métodos	1.17
1.4.3	Control de calidad de la exhaustividad.....	1.17
1.4.3.1	Verificación de la exhaustividad del CO ₂	1.18
1.4.3.2	Verificación del balance de sustancias para la alimentación a procesos.....	1.22
1.4.4	Generación de informes y documentación sobre la atribución y el CC de la exhaustividad.....	1.27
1.4.4.1	Atribución del CO ₂ proveniente de usos no energéticos.....	1.27
1.4.4.2	Exhaustividad del CO ₂ proveniente de usos no energéticos	1.28
1.5	Opción entre el método por equilibrio de masas y el método por factor de emisión	1.30
1.5.1	Introducción	1.30
1.5.2	Méritos e inconvenientes del método por equilibrio de masas.....	1.30
1.5.3	Méritos e inconvenientes del método por factor de emisión	1.32
Referencias	.....	1.34

Ecuación

Ecuación 1.1	Requerimiento total de sustancias para la alimentación a procesos	1.23
--------------	---	------

Figuras

Figura 1.1	Categorías de procesos industriales y utilización de productos.....	1.6
Figura 1.2	Balance material general de los procesos industriales en los cuales se fabrican los productos utilizando sustancias para la alimentación a procesos provenientes de hidrocarburos.....	1.15
Figura 1.3	Diagrama de flujo para la verificación de la exhaustividad en la contabilización de los usos no energéticos de combustibles.....	1.26
Figura 1.4	Fugas aparentes versus efectivas; sin crecimiento anual de las ventas de equipos.....	1.31
Figura 1.5	Fugas aparentes versus efectivas; 5% de crecimiento anual de las ventas de equipos.....	1.32

Cuadros

Cuadro 1.1	Categorías de Procesos industriales y Uso de productos y sus posibles emisiones.....	1.10
Cuadro 1.2	Tipos de utilizaciones y ejemplos de combustibles utilizados para aplicaciones no energéticas.....	1.13
Cuadro 1.3	Verificación de la exhaustividad de los informes de CO ₂ procedente del uso no energético de combustibles fósiles.....	1.20
Cuadro 1.4	Lista de combustibles fósiles que pueden ser utilizados como productos químicos intermedios o como reductores.....	1.22
Cuadro 1.5a	Comparación de los suministros de sustancias para la alimentación a procesos con los requerimientos inferidos de la producción.....	1.24
Cuadro 1.5b	Consumo específico de sustancias para la alimentación a procesos (TJ/Gg) y/o reductores.....	1.25
Cuadro 1.6	Atribución del CO ₂ proveniente del uso no energético de los combustibles fósiles.....	1.29
Cuadro 1.7	Opción entre el método por equilibrio de masas y el método por factor de emisión.....	1.33

Recuadro

Recuadro 1.1	Atribución de las emisiones de CO ₂ a las emisiones procedentes de la quema de combustibles o de los procesos industriales.....	1.8
--------------	--	-----

1 INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

En este volumen, Procesos industriales y uso de los productos (IPPU, del inglés, *Industrial Processes and Product Use*), se abordan las emisiones de gases de efecto invernadero provocadas por los procesos industriales, por el uso de gases de efecto invernadero en los productos y por los usos no energéticos del carbono contenido en los combustibles fósiles.

Se ha incorporado a este volumen la anterior sección «Utilización de disolventes y otros productos» de las directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996.

Las emisiones de gases de efecto invernadero son producidas por una gran variedad de actividades industriales. Las principales fuentes de emisión son las descargas provenientes de los procesos industriales que transforman materias por medios químicos o físicos (por ejemplo, los altos hornos de la industria del hierro y el acero, el amoníaco y otros productos químicos fabricados a partir de combustibles fósiles utilizados como sustancia química intermedia y la industria del cemento: estos son ejemplos notorios de procesos industriales que liberan cantidades significativas de CO₂). Durante estos procesos puede producirse una gran variedad de gases de efecto invernadero, incluidos el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC).

Además, con frecuencia se utilizan los gases de efecto invernadero en productos tales como refrigeradores, espumas o latas de aerosol. Por ejemplo, se usan los HFC como alternativa a las sustancias que agotan la capa de ozono en variados tipos de aplicaciones de productos. Análogamente, se emplean el hexafluoruro de azufre (SF₆) y el óxido nitroso (N₂O) en una serie de productos utilizados por la industria (p. ej., el SF₆ utilizado en las instalaciones eléctricas y el N₂O utilizado como propulsor en los productos de aerosol, principalmente en la industria de la alimentación) o por los consumidores finales (p. ej., el SF₆ utilizado en el calzado deportivo y el N₂O utilizado durante la anestesia). Una característica notable del uso de estos productos es que en casi todos los casos puede transcurrir un tiempo significativo entre la fabricación del producto y la liberación del gas de efecto invernadero. El retardo puede variar desde pocas semanas (p. ej., las latas de aerosol) hasta varios decenios, como es el caso de las espumas rígidas. En el caso de algunas aplicaciones (p. ej., la refrigeración), una fracción de los gases de efecto invernadero utilizados en los productos puede ser recuperada al final del período de vida del producto y ser reciclada o destruida. Además, varios otros gases de efecto invernadero fluorados pueden ser utilizados en procesos especiales como la fabricación de semiconductores, por ejemplo:

- trifluoruro de nitrógeno (NF₃)
- trifluorometil pentafluoruro de azufre (SF₅CF₃)
- éteres halogenados (p. ej., C₄F₉OC₂H₅, CHF₂OCF₂OC₂F₄OCHF₂, CHF₂OCF₂OCHF₂)

y otros halocarbonos no controlados por el Protocolo de Montreal que incluyen a los CF₃I, CH₂Br₂, CHCl₃, CH₃Cl, CH₂Cl₂.

En este volumen de las *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (Orientaciones de 2006 del IPCC)*, se presentan también métodos para la estimación de los gases halogenados de efecto invernadero que no están contemplados en el Protocolo de Montreal y para los cuales no se dispone de valores del potencial de calentamiento atmosférico (PCA) en el Tercer informe de evaluación del IPCC (TAR, del inglés, *Third Assessment Report*). Entre otros, estos gases son los siguientes:

- C₃F₇C(O)C₂F₅¹
- C₇F₁₆
- C₄F₆
- C₃F₈
- c-C₄F₈O.

Algunos de los métodos pueden ser utilizados para otros halocarbonos no controlados por el Protocolo de Montreal (incluidos varios líquidos y mezclas como los comercializados bajo las marcas de la familia de productos Fluorinert[™] y Galden[®])²

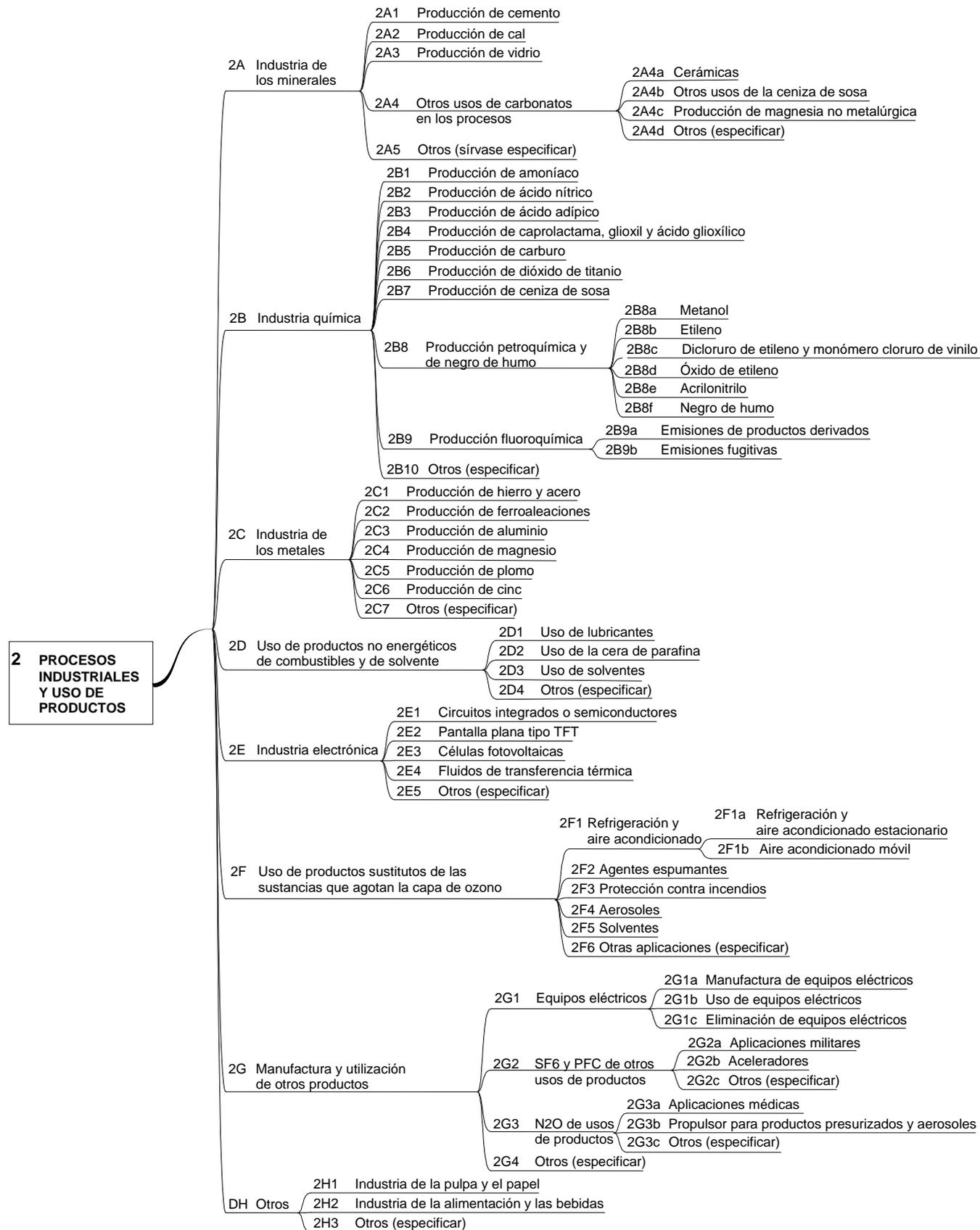
El uso del producto se combina con las orientaciones para el proceso industrial porque en muchos casos los datos de producción y de importación/exportación son necesarios para estimar las emisiones de los productos y porque el uso de estos puede tener lugar también como parte de las actividades industriales, excluidos los sectores no industriales (comercio minorista, servicios, hogares.) Por ello, es deseable vincular la estimación de las emisiones asociadas con la

¹ Este gas, comercializado como Novec[™]612, corresponde a una cetona fluorada producida por 3M (Milbrath, 2002).

² Los materiales Fluorinert[™] son seleccionados a partir de alcanos, éteres, aminas terciarias y aminoéteres completamente fluorados y de mezclas entre sí para obtener las propiedades deseadas. Los fluidos Galden[®] abarcan un rango de poliéteres completamente fluorados llamados perfluoropoliéteres (PFPE).

producción y el uso de los productos. Los usos no energéticos de los combustibles fósiles comprenden su aplicación como sustancias para la alimentación a procesos, reductores y productos no energéticos en los cuales sus propiedades físicas son utilizadas directamente en vez de ser quemados con propósitos energéticos.

Figura 1.1 Categorías de procesos industriales y utilización de productos



En este capítulo se abordan:

- la definición y la estructura del tratamiento de los procesos industriales y del uso de productos (1.1);
- una serie de cuestiones generales o interdisciplinarias (1.2), entre las cuales se hallan la definición de los procesos industriales y las emisiones procedentes de la quema de combustibles (1.2.1), así como las fuentes internacionales de datos (1.2.5);
- la naturaleza de los usos no energéticos de los combustibles fósiles (1.3);
- la exhaustividad y la atribución del CO₂ procedente del uso no energético de combustibles (1.4); y
- la opción entre el método por equilibrio de masas y el método por factor de emisión (1.5), con el acento específico en los gases fluorados abordados en los Capítulos 7 y 8 de este volumen.

CLASIFICACIÓN Y ESTRUCTURA DEL SECTOR

La Figura 1.1 muestra la estructura y los códigos de clasificación para cada categoría y subcategoría del Sector IPPU.

1.2 CUESTIONES GENERALES E INTERDISCIPLINARIAS

1.2.1 Definición de los procesos industriales y de las emisiones procedentes de la quema de combustibles

La atribución de las emisiones procedentes del uso de combustibles fósiles al Sector Energía o al Sector IPPU puede ser una tarea compleja. Los usos de las sustancias para la alimentación a procesos y de los reductores de combustibles producen frecuentemente gases que pueden quemarse para proveer energía a los procesos. Asimismo, una parte de las sustancias para la alimentación a procesos puede quemarse directamente para producir calor. Esto puede conllevar incertidumbres y ambigüedades en la generación de informes. Para ayudar a resolver este problema, las presentes *Directrices* introducen orientaciones prácticas para determinar cuándo deben atribuirse las emisiones de CO₂ liberadas por la quema de combustibles a la subcategoría quema de combustible dentro de la categoría fuente de energía o a la categoría fuente del proceso industrial. Se explica la regla en el Recuadro 1.1.

Los problemas que se encuentran al atribuir las emisiones a la quema de combustibles o a los procesos industriales presentan una importancia particular cuando los productos derivados de los combustibles o los gases de desecho son transferidos desde el sitio de fabricación y quemados en otro lugar, en actividades bien diferentes. Este hecho ha establecido el principio para las orientaciones dadas en el Recuadro 1.1, que ofrecen una definición para la quema de combustibles y un criterio para decidir si las emisiones de combustibles derivados deben declararse en el Sector IPPU o en una categoría de fuente del Sector Energía. En la Sección 1.3 se presentan los antecedentes sobre la naturaleza de los usos no energéticos de los combustibles fósiles y sobre los vínculos establecidos con los usos de combustibles fósiles en el Sector Energía.

1.2.2 Captura y reducción

En algunas categorías de IPPU, en particular para las grandes fuentes por puntos de emisiones, puede haber captura de emisiones con fines de recuperación y reutilización o bien de destrucción. Es una *buena práctica* contabilizar la captura de emisiones mediante datos específicos del país o con los más adecuados para cada planta. Por lo tanto, los métodos de Nivel 1 de este volumen no son los apropiados para el seguimiento de este tipo de reducciones. La captura debe ser incorporada a las ecuaciones mediante un término adicional que representa una cantidad de captura medida o la eficiencia de un sistema de reducción conjuntamente con el uso del dicho sistema a lo largo del año. Se recomienda no contabilizar la captura mediante el uso de un factor de emisión corregido, pues reduce la transparencia y genera riesgos de incoherencias en las series temporales.³

En el caso de que la tecnología de captura de CO₂ haya sido instalada en una planta, es una *buena práctica* restar el CO₂ capturado de los cálculos de emisiones de un nivel superior. Las cantidades CO₂ de utilización ulterior y de almacenamiento a corto plazo no deben restarse de las emisiones de CO₂, excepto cuando las emisiones de CO₂ hayan sido contabilizadas en otra parte del inventario. La hipótesis por defecto establece que no se produce captura ni

³ En las industrias tales como las de producción de ácido nítrico y de ácido adípico, el diseño de plantas modernas con tecnologías de destrucción incorporadas es una práctica estándar de la ingeniería, que ha sido desarrollada en respuesta a la necesidad de abordar las emisiones de NO_x. En estos casos especiales es posible utilizar factores de emisión que tomen en cuenta esta tecnología de destrucción, siempre y cuando el compilador del inventario pueda documentar el hecho de que la tecnología está efectivamente instalada y que ha sido utilizada.

almacenamiento de dióxido de carbono (CCS).⁴ Toda metodología que tome en cuenta la captura de CO₂ debe también considerar que las emisiones de CO₂ capturadas en el proceso pueden guardar relación con la combustión y con el proceso. En aquellos casos en los que se deba declarar por separado las emisiones de combustión y de procesos, los compiladores del inventario deben garantizar que no se haga el cómputo doble de las mismas cantidades de CO₂. En estos casos, la cantidad total de CO₂ capturado debe ser declarada preferentemente en la correspondiente de quema de combustible y de fuente IPPU, en igual proporción respecto de las cantidades de CO₂ generadas en esas categorías de fuentes. Refiérase al Volumen 2, Sección 2.3.4, para obtener información adicional sobre la captura y el almacenamiento de CO₂.

En relación con gases distintos del CO₂, es una *buena práctica* garantizar que las emisiones posteriores de los gases capturados sean contabilizadas en el lugar donde ocurren. Un ejemplo es el HFC-23 generado como producto derivado de la producción de HFC-22. En este caso, la sustancia se extrae de las descargas gaseosas y se utiliza en los productos o procesos. En este volumen pueden consultarse los métodos para tratar apropiadamente las eficiencias de captura en los casos en los que actualmente exista información suficiente.

Una reducción parcial o completa de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los procesos ocurre a menudo a través del tratamiento de las descargas gaseosas, p. ej., la destrucción de gases de efecto invernadero posterior a la combustión. Este método suele aplicarse a las sustancias con un alto potencial de calentamiento atmosférico, tales como los PFC en la industria de semiconductores o los HFC-23 en la industria química. Las eficiencias de las destrucciones dependen igualmente de las prácticas operativas y de las tecnologías aplicadas.

RECUADRO 1.1
ATRIBUCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ A LAS EMISIONES PROCEDENTES
DE LA QUEMA DE COMBUSTIBLES O DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES

La combustión se define de una manera funcional como:

La oxidación intencional de materiales dentro de un aparato diseñado para proporcionar calor o trabajo mecánico a un proceso, o bien para aplicaciones fuera del aparato.

El propósito de esta definición es separar la quema de combustibles para utilidades diferenciadas y productivas de la energía del calor liberado a través del uso de hidrocarburos en las reacciones químicas que definen un proceso industrial.

Los combustibles de proceso pueden obtenerse directamente de las sustancias para la alimentación a procesos, como en el caso de la fabricación del amoníaco, donde el gas natural proporciona a la vez sustancias para la alimentación a procesos y combustibles. Como otra alternativa, los combustibles de proceso pueden obtenerse indirectamente a través del uso de productos derivados de las sustancias para la alimentación a procesos o del uso de reductores. Constituyen ejemplo las descargas gaseosas obtenidas de la escisión por vapor de la sustancia para la alimentación del proceso de la nafta en la fabricación del etileno y los gases de los altos hornos.

Durante estas actividades pueden ocurrir a la vez emisiones procedentes de las etapas de la quema de combustibles y de los procesos industriales. Sin embargo, con frecuencia resulta impracticable o imposible declarar por separado estos dos tipos de emisiones (véase la Sección 1.3.2, a continuación). De acuerdo con lo anterior y para simplificar la generación de informes, se ha formulado la regla siguiente:

Las emisiones procedentes de la quema de combustibles obtenidas directa o indirectamente de la alimentación a procesos para un proceso IPPU serán atribuidas a la parte de la categoría de fuente en la cual ocurre el proceso. Estas categorías de fuente son, normalmente, 2B y 2C. Sin embargo, si se transfieren los combustibles derivados para su combustión en otra categoría de fuente, las emisiones deben declararse en la parte apropiada de las categorías de fuente del Sector Energía (normalmente, 1A1 o 1A2).

Dos ejemplos pueden ayudar a ilustrar esta definición.

1. Si el gas de altos hornos se quema por completo dentro de la industria del hierro y el acero (ya sea para el calentamiento del aire inyectado, las necesidades de fuerza de la instalación o las operaciones de acabado de los metales), las emisiones asociadas se declaran en la subcategoría 2C1 de fuente IPPU. Si una parte del gas se entrega a una fábrica de ladrillos vecina para la producción de calor o a un productor de electricidad pública, entonces las emisiones se declaran en las subcategorías de fuente (1A2f o 1A1a).
2. Si el metano excedentario o el hidrógeno proveniente de la escisión por vapor de la nafta se quema dentro de la planta petroquímica a los fines de otro proceso, entonces las emisiones se declaran como emisiones en IPPU, 2B8. Por el contrario, si los gases se transfieren a una refinería vecina para ser utilizados como combustible, las emisiones deben declararse como 1A1b, Refinación del petróleo.

⁴ Si un país declara la captura de CO₂, es una *buena práctica* garantizar que el CO₂ sea almacenado en áreas de almacenamiento geológico de larga duración, controladas de conformidad con la orientación del Capítulo 5, Transporte, inyección y almacenamiento geológico de CO₂, del Volumen 2: Energía.

1.2.3 Precursores

Estas *Directrices* no incluyen metodologías para la estimación de las emisiones de precursores (NO_x , COVDM, CO, SO_2 y NH_3). Las emisiones de estos gases pueden estimarse mediante otras orientaciones bien establecidas. Un ejemplo es el la Guía de Inventarios de Emisiones del EMEP/CORINAIR (EEA, 2005). Esta guía ha sido desarrollada para los inventarios de emisiones de sustancias reguladas bajo el Convenio de la CEPE sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia (CLRTAP) (véase el Recuadro 7.1, Capítulo 7, Precursores y emisiones indirectas, del Volumen 1. Orientación general y generación de informes) y cubre todos los sectores de fuentes. Por lo tanto, debe considerársela como la fuente principal de información para la estimación de estas emisiones.

En el Volumen 1, Cuadro 7.1, se proporciona un vínculo entre las categorías de fuentes del IPCC y los correspondientes capítulos de metodología de la Guía de inventario de emisiones de EMEP/CORINAIR. Este cuadro aporta información sobre el capítulo específico de EMEP/CORINAIR en el cual se pueden encontrar las orientaciones metodológicas sobre NO_x , CO, COVDM, SO_2 y NH_3 . Incluye también información sobre la disponibilidad de los métodos y la importancia de las emisiones de precursores provenientes de ciertas categorías de fuentes.

Algunas de las metodologías y los factores de emisión indicados en la Guía de inventario de emisiones de EMEP/CORINAIR son pertinentes para las condiciones dadas y para las categorías de fuentes existentes, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Sin embargo, las diferencias entre los países desarrollados y los países en desarrollo pueden ser mayores para algunos sectores, como es el caso de los solventes y, por ello, se debe utilizar la Guía de inventario de emisiones de EMEP/CORINAIR con gran precaución.

1.2.4 N_2O indirecto

El depósito de compuestos que contienen nitrógeno en los suelos provoca emisiones de N_2O . Sucede tanto a través de procesos de nitrificación como de desnitrificación (véase el Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra). Se las denomina emisiones de « N_2O indirecto». Para garantizar la coherencia interna del inventario es importante estimar las emisiones indirectas a partir de los depósitos de compuestos que contienen nitrógeno emitidos en el Sector IPPU. La metodología es simple y atribuye todas las emisiones indirectas de N_2O a la fuente original del nitrógeno.

Las fuentes del nitrógeno son NO_x (NO y NO_2) y NH_3 . El NO_x es emitido originalmente a partir de la quema de combustibles, mientras que el NH_3 es emitido principalmente en la agricultura, aunque pueden ocurrir emisiones significativas provenientes de procesos industriales para ambos gases. La información necesaria para estimar las emisiones de NO_x y NH_3 puede hallarse en otros lugares. Un ejemplo es la Guía de Inventarios de Emisiones del EMEP/CORINAIR, (EEA, 2005).

Las orientaciones completas se presentan en el Capítulo 7, Precursores y emisiones indirectas, del Volumen 1: Orientación general y generación de informes, para la estimación de emisiones indirectas de N_2O resultantes de las emisiones de NO_x y/o NH_3 . Es una *buena práctica* estimar el N_2O indirecto en los países donde exista un inventario de NO_x y/o NH_3 .

1.2.5 Fuentes internacionales de datos

En la medida en la que estén disponibles, se debe dar preferencia a la utilización de los datos nacionales. En los casos en los que la disponibilidad de los datos constituye un problema, los compiladores de datos pueden consultar las fuentes internacionales para obtener estimaciones a partir de los datos sustitutos para los IPPU. Las fuentes incluyen:

- Las estadísticas de producción industrial de las Naciones Unidas (ONU) disponibles en versión impresa en el anuario *Industrial Commodity Statistics Yearbook* (UN, 2004) desde 1991 y en CD-ROM con estadísticas de 1950 en adelante. Los datos (expresados en unidades físicas) están dados por producto básico y por país para todos los años y para casi todos los productos básicos pertinentes para los inventarios de emisiones.
- La OCDE publica datos de producción en unidades monetarias (valor de producción) para los países de la OCDE (disponibles en el sitio Web: http://www.oecd.org/statsportal/0,2639,en_2825_293564_1_1_1_1_1,00.html), pero los datos para los años más recientes no están disponibles. La OCDE vende también una publicación con datos adicionales en el sitio Web: http://www.oecd.org/document/63/0,2340,en_2825_499554_1935935_1_1_1_1,00.html, pero según el sitio, los

datos más recientes son de 2001. Los datos de contabilidades nacionales pueden ser también consultados — mediante pago de una tarifa— hasta el año 2002. La más útil es quizás la base de datos STAN, (del inglés, *Industry Structural Analysis*) publicada por la OCDE (disponible también sólo a través de suscripción, en el sitio Web:

<http://hermia.sourceoecd.org/vl=4126925/cl=58/nw=1/rpsv/cw/vhosts/oecdstats/16081307/v265n1/contp1-1.htm>), que contiene datos monetarios de producción sobre las mayores industrias hasta el año 2002. Nótese, sin embargo, que el valor monetario refleja no sólo la cantidad de producción, sino también el precio del producto — que puede fluctuar de un año para otro— de modo que los datos deben utilizarse con precaución.

- Eurostat publica datos de PRODCOM (Eurostat, 2005) para muchos países europeos.
- Las estadísticas sobre la producción de un gran número de productos básicos y sobre las capacidades de las plantas individuales son proporcionadas por producto básico y por país por el Instituto Geológico de los Estados Unidos (USGS, del inglés, *US Geological Survey*) como parte de las estadísticas del USGS en *International Minerals Statistics and Information*, 2005.

CUADRO 1.1 CATEGORÍAS DE PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS Y SUS POSIBLES EMISIONES							
2 Procesos industriales y uso de productos ^(Nota 1, 2)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	Otros gases halo-genados
2A Industria de los minerales							
2A1: Producción de cemento	X	*					
2A2: Producción de cal	X	*					
2A3: Producción de vidrio	X	*					
2A4: Otros usos de carbonatos en los procesos							
2A4a: Cerámicas	X	*					
2A4b: Otros usos de la ceniza de sosa	X	*					
2A4c: Producción de magnesia no metalúrgica	X	*					
2A4d: Otros	X	*					
2A5: Otros	X	*	*				
2B Industria química							
2B1: Producción de amoníaco	X	*	*				
2B2: Producción de ácido nítrico	*	*	X				
2B2: Producción de ácido adípico	*	*	X				
2B4: Producción de caprolactama, glyoxal y ácido glyoxílico	*	*	X				
2B5: Producción de carburo	X	X	*				
2B6: Producción de dióxido de titanio	X	*	*				
2B7: Producción de ceniza de sosa	X	*	*				
2B8: Producción petroquímica y de negro de humo							
2B8a: Metanol	X	X	*				
2B8b: Etileno	X	X	*				
2B8c: Dicloruro de etileno y monómero de cloruro de vinilo	X	X	*				
2B8d: Óxido de etileno	X	X	*				
2B8e: Acrilonitrilo	X	X	*				
2B8f: Negro de humo	X	X	*				
2B9: Producción fluoroquímica ^(Nota 4)							
2B9a: Emisiones de productos derivados ^(Nota 5)				X	X	X	X
2B9b: Emisiones fugitivas ^(Nota 5)				X	X	X	X
2B10: Otros	*	*	*	*	*	*	*
2C Industria de los metales							
2C1: Producción de hierro y acero	X	X	*				
2C2: Producción de ferroaleaciones	X	X	*				
2C3: Producción de aluminio	X	*			X		
2C4: Producción de magnesio ^(Nota 6)	X			X	X	X	X
2C5: Producción de plomo	X						
2C6: Producción de zinc	X						
2C7: Otros	*	*	*	*	*	*	*
2D Productos no energéticos de combustibles y uso de solvente ^(Nota 7)							
2D1: Uso de lubricante	X						
2D2: Uso de la cera de parafina	X	*	*				
2D3: Uso de solvente ^(Nota 8)							
2D4: Otros ^(Nota 9)	*	*	*				
2E Industria electrónica							
2E1: Circuito integrado o semiconductor ^(Nota 10)	*		*	X	X	X	X
2E2: Pantalla de panel plano tipo TFT ^(Nota 10)				X	X	X	X
2E3: Productos fotovoltaicos ^(Nota 10)				X	X	X	X
2E4: Fluido de transporte y transferencia térmica ^(Nota 11)							X
2E5: Otros	*	*	*	*	*	*	*

CUADRO 1.1 (CONTINUACIÓN)							
CATEGORÍAS DE PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS Y SUS POSIBLES EMISIONES							
2 Procesos industriales y uso de productos ^(Nota 1, 2)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆	Otros gases halogenados
2F Usos de productos como sustitutos para las sustancias que agotan la capa de ozono							
2F1: Refrigeración y aire acondicionado							
2F1a: Refrigeración y aire acondicionado estacionario	*			X	X		*
2F1b: Aire acondicionado móvil	*			X	X		*
2F2: Agentes de soplado de espumas	*			X	*		*
2F3: Productos contra incendios	*			X	X		*
2F4: Aerosoles				X	X		*
2F5: Solventes ^(Nota 12)				X	X		*
2F6: Otras aplicaciones	*	*	*	X	X		*
2G Manufactura y utilización de otros productos							
2G1: Equipos eléctricos							
2G1a: Fabricación de equipos eléctricos ^(Nota 13)					X	X	*
2G1b: Uso de equipos eléctricos ^(Nota 13)					X	X	*
2G1c: Eliminación de equipos eléctricos ^(Nota 13)					X	X	*
2G2: SF ₆ y PFC de otros usos de productos							
2G2a: Aplicaciones militares					*	X	*
2G2b: Aceleradores ^(Nota 14)					*	X	*
2G2c: Otros					X	X	*
2G3: N ₂ O del uso de productos							
2G3a: Aplicaciones médicas			X				
2G3b: Propulsor para productos presurizados y aerosoles			X				
2G3c: Otros			X				
2G4: Otros	*	*		*			*
2H Otros							
2H1: Industria de la pulpa y del papel ^(Nota 15)	*	*					
2H2: Industria de la alimentación y la bebida ^(Nota 15)	*	*					
2H3: Otros	*	*	*				

- 1) «X» denota los gases para los cuales se ofrecen orientaciones metodológicas en este volumen.
- 2) «*» denota los gases que pueden ocasionar emisiones, pero para los cuales no se dan orientaciones metodológicas en este volumen.
- 3) Para los precursores (NO_x, CO, COVDM, SO₂ y NH₃), véase el Cuadro 7.1 en el Capítulo 7 del Volumen 1.
- 4) Las metodologías de Nivel 2 y 3 son aplicables a cualquiera de los gases fluorados de efecto invernadero detallados en los Cuadros 6.7 y 6.8 del informe Contribución del grupo de trabajo I para el Tercer informe de evaluación del IPCC (IPCC, 2001), que comprende los HFC, PFC, SF₆, alcoholes fluorados, éteres fluorados, NF₃, SF₂CF₃. En estos niveles todas las estimaciones están basadas en medidas, ya sea por medición de fugas en los procesos o por medición de emisiones, lo cual incluye las liberaciones específicas de los procesos. Para la metodología del Nivel 1, los valores por defecto se proveen para las emisiones HFC-23 provenientes de la fabricación de HFCF-22 y para las emisiones de HFC, PFC y SF₆. Para los demás materiales hay muy pocos fabricantes, cada cual con su tecnología individual, como para permitir el uso de valores por defecto generales.
- 5) Los «Otros gases halogenados» son los alcoholes fluorados, éteres fluorados, NF₃, SF₂CF₃.
- 6) Las pequeñas cantidades de CO₂ utilizadas como disolventes del SF₆ y emitidas durante el procesamiento del magnesio son consideradas insignificantes y contabilizadas usualmente en otros rubros. Los «otros gases halogenados» mencionados aquí incluyen principalmente las cetonas fluoradas.
- 7) Las emisiones provenientes de la alimentación a procesos en la industria petroquímica deben ser abordadas en 2B8 (Producción de productos petroquímicos y negro de humo). Las emisiones provenientes del uso de algunos productos deben ser atribuidas a cada categoría de fuente industrial (p. ej., de ánodos de carbono y electrodos → 2C (Industria de los metales)).
- 8) Sólo las emisiones de COVDM y de gases de efecto invernadero indirecto son relevantes para esta categoría. Por lo tanto, en este volumen no se dan orientaciones metodológicas. Para obtener orientaciones sobre el COVDM, véase el Capítulo 7, Volumen 1.
- 9) Están incluidas aquí las emisiones provenientes de la producción de asfalto, de la pavimentación de rutas e impermeabilización de techos. Para más detalles, véase la Sección 5.4 de este volumen.
- 10) Los «otros gases halogenados» son NF₃, c-C₄F₈O, etc.
- 11) Aquí, los «otros gases halogenados» incluyen C₄F₉OC₂H₅ (HFE-7200), CHF₂OCF₂OC₂F₄OCHF₂ (H-Galden 1040x), CHF₂OCF₂OCHF₂ (HG-10), etc.
- 12) Las emisiones provenientes del uso de gases fluorados deben declararse aquí. Las emisiones provenientes de los aerosoles que contienen solventes deben declararse bajo la Categoría 2F4 en vez de esta categoría. Las emisiones provenientes del uso de otros solventes deben declararse bajo 2D3.
- 13) Hasta el momento de escribir estas *Orientaciones*, no se han identificado las emisiones de «otros gases halogenados», pero es posible que estos gases puedan ser utilizados y emitidos en el futuro.
- 14) Hasta el momento de redactar estas *Orientaciones*, no se han identificado las emisiones de los PFC u «Otros gases halogenados», pero es posible que estos gases puedan ser utilizados y emitidos en el futuro.
- 15) Este volumen no contempla una sección específica para estas categorías, pero las orientaciones metodológicas sobre las emisiones de CO₂ provenientes del uso de carbonatos producidos por estas industrias se presentan en el Capítulo 2, Sección 2.5 de este volumen.

1.3 NATURALEZA DE LOS USOS NO ENERGÉTICOS DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

Como se explica en la Sección 1.1, algunas emisiones de CO₂ provenientes de los combustibles fósiles se producen debido a utilizaciones que no están destinadas originalmente a propósitos energéticos, y en esta sección se describen los principios que han orientado su estimación y la generación de los informes correspondientes. Los métodos utilizados para estimar las emisiones están descritos en los capítulos sobre categorías de fuentes IPPU específicas (Capítulos 3, 4 y 5). Esta sección proporciona antecedentes importantes y adicionales para el uso de los datos relacionados con los usos no energéticos y sobre los vínculos entre estos datos y el uso de los combustibles fósiles.

El uso no energético es generalizado y diverso, y la declaración correcta de sus emisiones es conceptualmente difícil. Es una *buena práctica* garantizar que todos los combustibles fósiles suministrados para propósitos no energéticos puedan ser vinculados con los usos cubiertos por el inventario y que las emisiones declaradas sean coherentes con el carbono suministrado. De acuerdo con ello, la Sección 1.4 proporciona orientaciones para evaluar la coherencia y la exhaustividad de las emisiones de carbono provenientes del uso de los combustibles como alimentación a procesos. Estas orientaciones contemplan las acciones siguientes: (a) verificar que las necesidades en alimentación a procesos para los procesos incluidos en el inventario sean proporcionales a los suministros para la alimentación a procesos tal como esté registrado en las estadísticas nacionales sobre energía; (b) verificar que los totales declarados para las emisiones de CO₂ provenientes de fuentes de la alimentación a procesos y calculados «de abajo hacia arriba» en los diferentes niveles de subcategorías sean exhaustivos y coherentes; (c) documentar y declarar cómo estas emisiones son atribuidas en el inventario.

1.3.1 Tipos de utilización

Algunos combustibles primarios (carbón, gas natural) y secundarios derivados del carbón o del petróleo crudo pueden no ser utilizados como combustibles. Se suele hacer referencia a estos casos como utilizaciones no energéticas de los combustibles, aunque éstas puedan incluir la combustión de una parte del hidrocarburo contenido para aumentar su temperatura.

Según el uso, pueden distinguirse tres categorías de usos no energéticos:

1. *Alimentación a procesos*: combustibles fósiles que se utilizan como materias primas en procesos de conversión química con el fin de fabricar principalmente productos químicos orgánicos y, en menor medida, productos químicos inorgánicos (en particular el amoníaco) y sus derivados (OECD/IEA/Eurostat, 2004). En la mayoría de los casos, una parte del carbono queda incorporado al producto fabricado. El uso de hidrocarburos para la alimentación a los procesos de conversión está casi por entero circunscrito a las industrias químicas y petroquímicas.
2. *Agentes reductores*: se utiliza el carbono como agente reductor en la producción de varios metales (Capítulo 4) y de productos inorgánicos (Secciones 3.6 – 3.8). Se utiliza directamente como agente reductor o indirectamente a través de la producción intermedia de electrodos utilizados en la electrólisis. En la mayoría de los casos, sólo muy pequeñas cantidades de carbono son incorporadas al producto fabricado, mientras que la mayor parte se oxida durante el proceso de reducción.
3. *Productos no energéticos*: aparte de los combustibles, las refinerías y también los hornos de coque producen algunos productos no energéticos que son utilizados directamente (p. ej., sin conversión química) debido a sus propiedades físicas o diluyentes, o se venden a la industria química como producto químico intermedio. Los lubricantes y las grasas son utilizados en las máquinas debido a sus propiedades lubricantes; las ceras de parafina son utilizadas en las velas, en los recubrimientos de papeles, etc.; el alquitrán es utilizado en los techos y en las rutas por sus propiedades de impermeabilidad y de durabilidad. Las refinerías producen también espíritus blancos, los cuales son utilizados por sus propiedades como solventes.

En este capítulo se discuten las emisiones resultantes de los usos iniciales de los hidrocarburos que entran en estas tres categorías. En el Cuadro 1.2 se muestran los tipos de hidrocarburos utilizados en las tres categorías y las principales aplicaciones. La lista de tipos de combustibles y de procesos es ilustrativa pero no exhaustiva, pues algunas utilizaciones menores de productos de refinerías o de hornos de coque han sido omitidas. Por ejemplo, no se muestran las olefinas de refinería porque en las refinerías se produce sólo una fracción menor de las olefinas utilizadas para la fabricación de productos intermedios.

En esta sección se concentra la atención sobre las cuestiones relacionadas con la generación de informes sobre procesos industriales y emisiones provenientes del uso de combustibles fósiles utilizados como sustancias para la

alimentación a procesos y como reductores (las categorías primera y segunda del Cuadro 1.2). Las cuestiones relativamente más simples que inciden sobre la estimación de las emisiones producidas por los usos iniciales de productos no energéticos (la tercera categoría del Cuadro) se presentan con sus respectivos métodos en el Capítulo 5.

Además de las emisiones provenientes del uso inicial de hidrocarburos, los productos fabricados a partir de sustancias para la alimentación a procesos (metanol, etileno, negro de humo) y sus derivados pueden conllevar emisiones adicionales posteriores a la fabricación y a la venta. Por ejemplo, la conversión de etileno en óxido de etileno conlleva emisiones sustanciales de CO₂ provenientes de procesos industriales (Sección 3.9).

Las emisiones provenientes de utilidades posteriores de productos no energéticos «usados» (desechos posteriores al consumo) no se incluyen en este volumen sobre el Sector IPPU, pero son abordadas en los Sectores Energía y Desechos según cómo ocurra su tratamiento, ya sea con o sin recuperación de energía o bien como tratamiento de aguas residuales.

CUADRO 1.2			
TIPOS DE UTILIZACIONES Y EJEMPLOS DE COMBUSTIBLES UTILIZADOS PARA APLICACIONES NO ENERGÉTICAS			
Tipo de utilización	Ejemplo de tipos de combustible	Producto/proceso	Capítulo
Alimentación a procesos	gas natural, aceites, carbón	amoníaco	3.2
	nafta, gas natural, etano, propano, butano, diésel, fuelóleo	metanol, olefinas (etileno, propileno), negro de humo	3.9
Reductor	coque de petróleo	carburos	3.6
	carbón, coque de petróleo	dióxido de titanio	3.7
	coque metalúrgico, carbón pulverizado, gas natural	hierro y acero (primario)	4.2
	coques metalúrgicos	ferroaleaciones	4.3
	coque de petróleo, brea (ánodos)	aluminio ¹	4.4
	coque metalúrgico, carbón	plomo	4.6
	coque metalúrgico, carbón	zinc	4.7
Producto no energético	lubricantes	propiedades lubricantes	5.2
	ceras de parafina	miscelánea (p. ej., velas, recubrimientos)	5.3
	Alquitrán (asfalto)	Pavimentación de rutas e impermeabilización de techos	5.4
	espíritus blancos ² , algunos compuestos aromáticos	como solvente (pinturas, limpiado al seco)	5.5

¹ Utilizado también en la producción secundaria del acero (en hornos de arco eléctrico) (véase Capítulo 4.2).

² Conocidos también como trementina mineral, espíritus de petróleo o esencias de petróleo.

1.3.2 Contabilización de los usos de los combustibles fósiles como sustancias para la alimentación a procesos y como reductores, y de sus emisiones de CO₂

Idealmente, la estimación de las emisiones provenientes de los usos de los combustibles como sustancias para la alimentación a procesos y como reductores debería hacerse a partir del conocimiento de los datos de plantas específicas y que son pertinentes para el proceso considerado. Sin embargo, rara vez se dispone de todos los datos necesarios, pero para algunas de las estimaciones, por lo menos, pueden necesitarse los datos nacionales sobre los usos no energéticos de los combustibles. Para identificar los datos apropiados para las estimaciones de emisiones de CO₂ provenientes de los procesos que utilizan hidrocarburos combustibles como sustancias para la alimentación a procesos o reductores, es necesario comprender las relaciones que existen entre los flujos de hidrocarburos y los datos nacionales sobre energía.

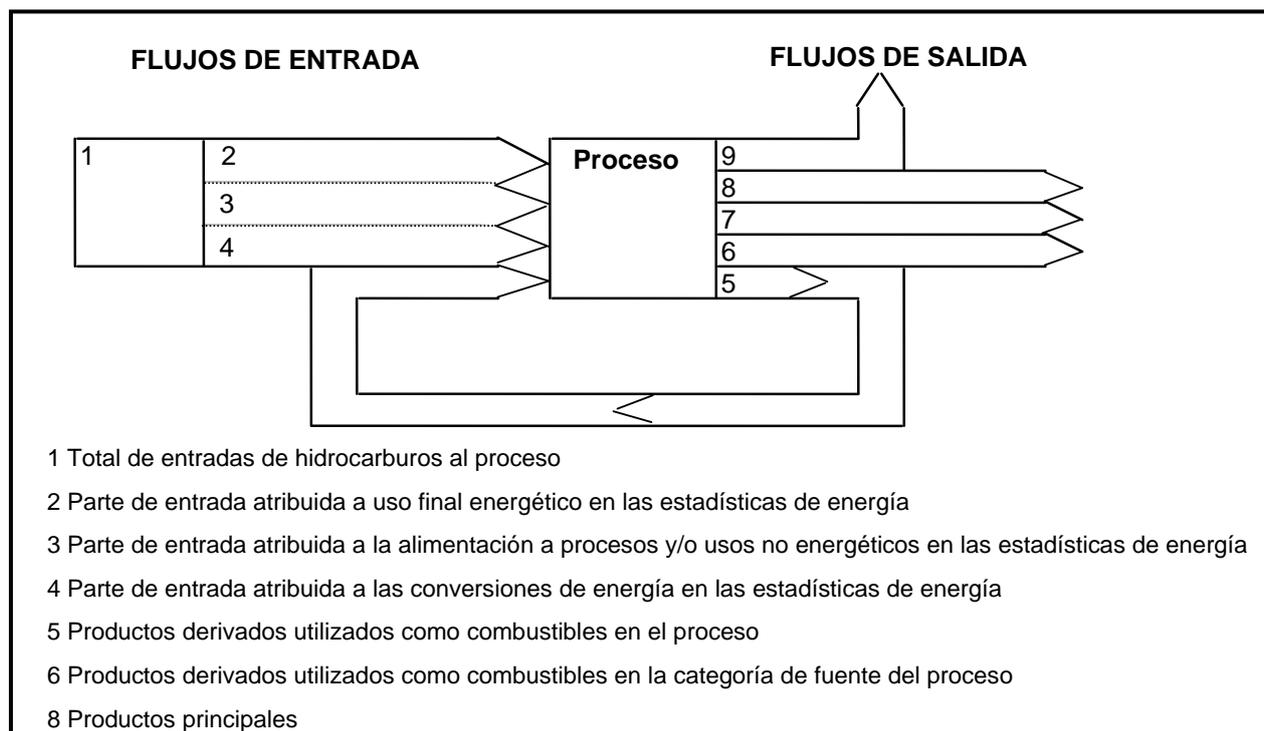
La utilización del término «uso no energético» difiere de un país a otro, así como en las fuentes de estadísticas sobre energía (Patel, 1999). Por ejemplo, a menudo, sucede que en las estadísticas sobre energía, las tres categorías mencionadas más arriba no están agrupadas como utilidades no energéticas. En la mayoría de las estadísticas sobre energía, las entradas de combustibles como *reductores* en los altos hornos no están incluidas pero son tomadas en cuenta como entradas a una actividad de conversión que transforma el coque en combustibles y como otras entradas a los gases de los altos hornos. La Agencia Internacional de Energía (AIE) utiliza este método. También declara la categoría *alimentación a procesos* como elemento recordatorio bajo el rubro utilización de la energía dentro de la rama productos químicos de la industria, mientras que los suministros provenientes de productos no energéticos, tal como se definen más arriba, son declarados bajo «utilidades no energéticas». Por el contrario, en muchas estadísticas nacionales sobre energía, el total de las tres categorías (generalmente sin los altos hornos) se declaran como categoría única llamada uso no energético.

Esta práctica de contabilización para los usos de combustibles como sustancias para la alimentación a procesos y reductores difiere significativamente entre los países y entre los procesos. En la Figura 1.2 se ilustra un *balance general de hidrocarburos* para los procesos en los cuales las entradas de hidrocarburos son utilizadas con propósitos relacionados con la alimentación a procesos o con los reductores. Esta figura puede ayudar a comprender las diferencias que existen entre los diferentes países en materia de fronteras de categorías para cada sistema de contabilización de los usos no energéticos en relación con sus respectivas estadísticas sobre energía.

En algunos procesos que utilizan hidrocarburos como materias primas, los combustibles derivados son producidos cerca del sitio de producción de los productos principales. Los productos derivados son quemados para proveer energía, ya sea al proceso mismo (Flujo 5), a otros procesos en el mismo sector industrial (Flujo 6) o en cualquier otra parte, en otro sector industrial (Flujo 7).

En el caso de la producción de hierro primario en los altos hornos, el coque es utilizado junto con el carbón y otras entradas suplementarias para reducir el mineral ferroso. Se fabrica el coque a partir del carbón en hornos de coque que también generan alquitrán y gas de horno de coque. En los altos hornos se produce el gas de altos hornos. El arrabio que se forma en el alto horno es transformado en su mayor parte en acero en el horno básico de oxígeno lo cual produce gas de horno de oxígeno: éste contiene la mayor parte del carbón incorporado al arrabio. Algo del arrabio puede ser suministrado también a las fundiciones de hierro y a otras aplicaciones. Para mantener un balance de energía, las entradas a los hornos de coque y a los altos hornos, normalmente se declaran en las estadísticas nacionales e internacionales sobre energía, no como usos no energéticos (reductores), sino que se identifican como flujos en el sector de conversión de energía. Todos los productos de estos procesos (coque, gas de horno de coque, alquitranes, gases de altos hornos y gases de horno de oxígeno) se declaran como salidas del sector conversión, excepto si algunas partes se consumen en el mismo proceso o en otros procesos del sector conversión. La salida del sector conversión se declara como uso final de energía (en el sector donde el combustible es utilizado) o como uso final no energético.

Figura 1.2 Balance material general de los procesos industriales en los cuales se fabrican los productos utilizando sustancias para la alimentación a procesos provenientes de hidrocarburos (el tamaño de los flujos es arbitrario).



(Adaptado de Neelis *et al.*, 2005)

En el proceso de escisión al vapor empleado para producir etileno y otros productos químicos básicos, además de los productos principales (Flujo 8), se producen productos derivados de los combustibles. Éstos son utilizados en parte para sostener la reacción endotérmica de escisión al vapor (Flujo 5), en parte como combustibles para otros propósitos de orden químico (Flujo 6) y en parte para otros sectores (Flujo 7, p. ej., flujos de retorno hacia las refinerías para incorporarlos a la producción de refinería). En contraste con la industria del hierro primario y del acero, es frecuente que en las estadísticas nacionales sobre la energía, la conversión de los hidrocarburos de entrada en productos derivados de combustibles no se aborde como proceso de conversión de energía: por lo general, sucede porque los datos sobre producción de derivados de combustibles no están disponibles. En cambio, la entrada total de hidrocarburos (incluidos los hidrocarburos que aparecerán en los productos derivados de los combustibles) se atribuye al uso en la alimentación a procesos. En los países donde la producción de productos derivados es conocida, la quema de productos derivados combustibles puede incluirse en las estadísticas nacionales sobre la energía como consumo de energía final y puede excluirse de los usos no energéticos.

En la producción de gas de síntesis para producir amoníaco, metanol y otros productos químicos, la entrada de hidrocarburos se utiliza para producir gas de síntesis a través de la reformación de vapor o del proceso de oxidación parcial. Dado que la reformación de vapor es un proceso endotérmico, se quema una parte del hidrocarburo en un horno para sostener la reacción. Por lo tanto, una parte de la entrada de hidrocarburos da lugar a emisiones de CO₂ provenientes de la quema de combustibles, mientras que otra parte da lugar a emisiones en los procesos industriales. En el reformado al vapor convencional, la combustión y la reformación tienen lugar en reactores separados y pueden existir datos separados sobre los requerimientos de hidrocarburos de cada uno de estos procesos. En el caso de los procesos de concepto avanzado y de la oxidación parcial, resulta mucho más difícil distinguir claramente entre la combustión y las emisiones de procesos. De acuerdo con el principio de atribución presentado en el Recuadro 1.1, todas las emisiones debidas a la producción de gas de síntesis deben declararse en el sector IPPU.

Los usos de *otras entradas de hidrocarburos* en otros procesos diferentes de los que se abordan aquí pueden declararse también como usos no energéticos en las estadísticas nacionales sobre energía. La figura modelo precedente y los procesos ya descritos deben, por lo tanto, considerarse como ejemplos.

En las estadísticas nacionales sobre energía puede aplicarse una definición bruta del uso no energético para estos procesos en la cual el *total* de la entrada de hidrocarburos se atribuye a utilidades no energéticas. Los expertos estadísticos pueden aplicar también una definición neta en la cual se resta del total de entrada la parte atribuida al uso de energía final en el proceso. En el caso de una definición «bruta», el Flujo 1 es igual al Flujo 3 de la Figura 1.2 y los Flujos 2 y 4 están ausentes. En el caso de la definición «neta», la entrada (Flujo 1) se divide entre usos no energéticos (Flujo 3) y usos de energía final (Flujo 2). Aparte de las definiciones bruta pura y neta pura, a veces se aplican métodos mixtos según la disponibilidad de los datos para ciertos procesos y para ciertos combustibles. Al elaborar los inventarios de un país dado, es necesario comprender bien la definición de uso no energético, de modo que se puedan prevenir el cómputo doble y garantizar que las emisiones de CO₂ no sean pasadas por alto. En el caso ideal, los datos disponibles deben cubrir todos los flujos identificados en la Figura 1.2. Por otro lado, el consumo de combustibles en el proceso (Flujo 5) permitirá hacer una estimación de las emisiones del Sector IPPU. Sin embargo, es infrecuente que ambos conjuntos de datos estén disponibles, de modo que la descripción precedente de los procesos y de los datos debe aportar suficientes elementos de comprensión para orientar la búsqueda de los elementos principales de información requeridos para declarar emisiones del Sector IPPU. Se trata del carbono combustible suministrado al proceso (Flujo 1), el carbono contenido en los productos (Flujo 8) y los productos derivados combustibles *utilizados en otra categoría de fuente* (Flujo 7; véase también el Recuadro 1.1). Una estimación de las emisiones puede hacerse restando los últimos elementos al primero.

1.3.3 Emisiones provenientes de los procesos de refinerías

Las refinerías fabrican productos del petróleo para usos en tanto que combustibles y usos no energéticos, y en este proceso producen hidrógeno y otros gases, productos intermedios y productos químicos básicos. Las emisiones provenientes de los combustibles consumidos por las refinerías para realizar esta actividad se declaran como emisiones del Sector Energía. Este principio se mantiene en las *Orientaciones*, aun cuando algunas utilidades de combustibles en las refinerías estén destinadas a sustentar la fabricación de productos químicos para la venta (por ejemplo, el propileno o los compuestos aromáticos). La fabricación de productos químicos básicos en las refinerías ocurre normalmente, y de manera usual, a través del tratamiento de los productos derivados de las fabricaciones dominantes. Estos productos químicos básicos pueden utilizarse en otros procesos de la refinería o transferirse hacia instalaciones petroquímicas vecinas. Sin embargo, en algunas circunstancias, la demanda de productos químicos básicos puede inducir a la refinería a ajustar los procesos de producción para aumentar el suministro del producto químico y venderlo directamente en el mercado. A pesar de esta actividad, el uso de combustible para sustentar todos los procesos se considera todavía como combustible de refinería y las emisiones como emisiones del Sector Energía. Es importante reconocer que se considera la producción de productos químicos básicos destinados a la venta una actividad secundaria de las refinerías y distinta de la fabricación de productos químicos en instalaciones petroquímicas vecinas o localizadas conjuntamente. Esto es coherente con la clasificación estadística aparte de ambas actividades económicas.

1.4 CC de la exhaustividad y atribución del CO₂ proveniente de usos no energéticos

1.4.1 Introducción

El compilador del inventario cumple la tarea de minimizar las omisiones y evitar el cómputo doble de emisiones de productos que contienen carbono fósil. Es importante también garantizar que todas las fuentes hayan sido identificadas y atribuidas correctamente a una categoría de fuente.

Más abajo se describen dos métodos de Control de calidad (CC) destinados a facilitar la organización y el acabado de esta tarea. No se espera que los compiladores del inventario obtengan datos sobre usos no energéticos que no estén normalmente disponibles, excepto en los casos en los que las verificaciones de balance referidas más abajo revelen insuficiencias significativas que requieran explicación.

Antes de efectuar verificaciones de CC es necesario comprender la definición de uso no energético (incluso el de uso como sustancia para alimentación a procesos y como reductor) y los principios aplicados para su categorización se describen en la Sección 1.3. Las emisiones provenientes de los usos del carbono contenido en los materiales en cada una de las categorías pueden producirse durante los primeros o sucesivos usos, bajo la forma de productos de derivación, al igual que al momento de su destrucción final. Con el fin de evitar el cómputo doble, es fundamental estar consciente de que algunas de las emisiones de carbono provenientes de los productos derivados de combustibles fósiles serán declaradas en el Sector Desechos o en el Sector Energía.

En suma, es una *buena práctica* verificar la exhaustividad de todos los combustibles y fuentes analizados aquí y documentar dónde y cómo se los declara en el inventario. El compilador debe garantizar que todo combustible fósil utilizado con propósitos no energéticos pueda ser vinculado con los usos cubiertos por el inventario y verificar que las emisiones declaradas sean coherentes con el carbono utilizado. Los dos métodos de CC propuestos para verificar la exhaustividad son los siguientes:

- (a) Verificar que los totales declarados —calculados «de abajo hacia arriba»— para las emisiones de CO₂ provenientes de los usos no energéticos de combustibles fósiles en los diferentes niveles de subcategorías sean exhaustivos y coherentes (Sección 1.4.3.1)
- (b) Verificar que los requerimientos en la alimentación a los procesos incluidos en el inventario estén equilibrados con los suministros de sustancias para la alimentación a procesos, tal como esté registrado en las estadísticas nacionales sobre energía. (Sección 1.4.3.2)

En la práctica, las actividades de CC constituyen sólo una parte del proceso de desarrollo del inventario y los compiladores tienen que equilibrar, por un lado, los objetivos del control de calidad, una exactitud mejorada y una incertidumbre reducida y, por otro, las exigencias para poder cumplir con los plazos y con la rentabilidad. Un sistema de *buenas prácticas* busca lograr ese equilibrio y permitir el mejoramiento continuo de las estimaciones del inventario. En la Sección 6.2 del Volumen 1 se ofrece más información sobre las consideraciones prácticas relativas a la manera de priorizar los esfuerzos de GC/CC y de verificación. Tomando esto en cuenta, se considera una *buena práctica* efectuar al menos la primera verificación de exhaustividad sobre emisiones de CO₂, particularmente si las emisiones totales declaradas de CO₂ provenientes de usos no energéticos de combustibles son superiores a la *categoría principal* de más bajo nivel. Además, se insta al compilador del inventario a verificar el balance entre suministros y requerimientos de la alimentación a procesos, si dispone de las condiciones suficientes para hacerlo.

Además de ofrecer estos métodos de CC, esta sección presenta también orientaciones para documentar y declarar cómo se atribuyen estas emisiones en el inventario y cómo se verifica la exhaustividad (Sección 1.4.4). Las emisiones de CO₂ provenientes de usos no energéticos están incluidas junto con las emisiones del Sector Energía (1A), allí donde hayan sido utilizados gases de desecho de los procesos IPPU y declarados en el Sector Energía. Independientemente de cualquier control de calidad efectuado sobre la exhaustividad y por razones de transparencia y de comparabilidad entre países, es una *buena práctica* informar dónde se han atribuido estas fuentes en el inventario (véase formato de ejemplo en la Sección 1.4.4).

1.4.2 Rango de aplicabilidad de los métodos

El CC de exhaustividad (abordado en la Sección 1.4.3) puede distinguirse del CC de la documentación sobre atribuciones, que se aborda en la Sección 1.4.4. La verificación de la exhaustividad en la contabilización utiliza dos métodos «de arriba hacia abajo», cada uno de los cuales tiene limitaciones de aplicabilidad para las emisiones provenientes de los primeros usos de los combustibles para fines no energéticos. El CC de atribución verifica dónde se han declarado todas las emisiones provenientes de los usos no energéticos de los combustibles, la destrucción de productos no energéticos y las emisiones fugitivas de la fabricación de combustibles.

Además de verificar la exhaustividad del CO₂, se insta al compilador del inventario a verificar el balance entre los suministros y los requerimientos de la alimentación a procesos, si dispone de las condiciones suficientes para ello. Esta verificación utiliza los mismos datos sobre la alimentación a procesos y otros usos no energéticos, tomados de las estadísticas sobre energía, y sobre contenidos de carbono, que los utilizados en los cálculos del carbono excluido indicados en el Método de referencia para el CO₂ proveniente de la quema de combustibles del Sector Energía (véase el Capítulo 6, Volumen 2)

1.4.3 Control de calidad de la exhaustividad

La *verificación de la exhaustividad del CO₂* (Sección 1.4.3.1) comienza con los datos de balance de energía y está diseñada para verificar que todas las emisiones significativas de CO₂ provenientes de los primeros usos no energéticos de los combustibles fósiles hayan sido declarados, sin cómputo doble, en alguna parte del inventario. Las emisiones son la suma de las emisiones de CO₂ provenientes de: (a) combustibles utilizados como alimentación a procesos en la industria química; (b) combustibles utilizados como reductores en la industria del metal; (c) productos de combustibles oxidados durante el uso (emisiones directas o emisiones de carbono que contienen gases diferentes del CO₂ (COVDM, CO y CH₄), oxidados parcial o totalmente en la atmósfera).

Las emisiones sucesivas de CO₂ pueden producirse en la fase de desecho si los óleos o los productos de desecho son incinerados. Sin embargo, la cantidad de carbono fósil que contiene productos que se eliminan anualmente como desechos no es igual a la cantidad utilizada anualmente para los primeros usos, porque el carbono fósil que contiene productos puede ser importado o exportado, o bien porque los productos pueden ser utilizados durante

varios años antes de ser descartados. Las complicaciones que surgen del comercio exterior son igualmente válidas para las emisiones que resultan del uso de los productos fabricados a partir de las sustancias para la alimentación a procesos y de sus derivados. Puesto que los productos de derivación también pueden importarse o exportarse, las emisiones provenientes de su uso (p. ej., de la producción de óxido de etileno o de acrilonitrilo) no pueden vincularse directamente con el primer uso no energético de los combustibles fósiles. Debido a estas razones, la *verificación de la exhaustividad del CO₂* se limita a los primeros usos no energéticos del carbono fósil que generan emisiones y no incluye las emisiones de CO₂ provenientes de la incineración de desechos. Otras fuentes no energéticas de CO₂ fósil son: la quema en antorcha, la ventilación y otras emisiones fugitivas de la Categoría 1B. Éstas están igualmente excluidas de este método de verificación de la exhaustividad.

La *verificación del balance de la alimentación a procesos* (Sección 1.4.3.2) es más simple y comienza con las estadísticas no energéticas de los suministros de sustancias para la alimentación a procesos y reductores y luego las compara con los requerimientos declarados (o inferidos) de la alimentación a los numerosos procesos IPPU. Esta verificación identifica las discrepancias entre estos dos conjuntos de datos, las cuales pueden indicar omisiones de procesos o usos de sustancias para la alimentación a procesos que han sido clasificados como quema de combustibles.

1.4.3.1 Verificación de la exhaustividad del CO₂

El principio de este método está basado en la realización de comparaciones entre las emisiones declaradas de CO₂ y las emisiones potenciales de CO₂ provenientes de usos no energéticos. En él se distinguen tres etapas:

1. Los contenidos de carbono equivalente-CO₂ se calculan para el uso no energético de los combustibles fósiles tal como estén declarados en las estadísticas nacionales sobre energía (incluidos el coque y otras entradas de combustibles sólidos en los altos hornos).
2. Las emisiones totales de CO₂ declaradas por subcategoría IPPU se ponen en relación con los (principales) combustibles utilizados con propósitos no energéticos. Debe incluir las emisiones provenientes de los productos derivados de los combustibles que se transfieren del sector IPPU y declaran en otros lugares en el sector Energía.
3. Las emisiones totales de CO₂ fósil IPPU declaradas se comparan con una estimación «de arriba hacia abajo» del CO₂ potencial existente en el contenido de carbono de las sustancias utilizadas para la alimentación a procesos. La comparación se realiza mediante el cálculo del CO₂ efectivamente liberado como fracción del CO₂ potencial contenido en los combustibles de entrada. Las fracciones pueden entonces compararse con los valores observados para diferentes industrias (véase más abajo, «Etapas 3: Acciones derivadas de la comparación»). En el caso de que se observen discrepancias significativas, deben enumerarse las causas probables, tomando en cuenta el grado de exactitud en la atribución de fuentes a los combustibles tomados individualmente.

Etapas 1: Cantidad de sustancias para la alimentación a procesos y contenido de carbono equivalente-CO₂

La cantidad de sustancias para la alimentación a procesos y de uso no energético introducida en el Cuadro 1.3 corresponde al consumo de cada combustible con fines «no energéticos», tal como esté declarado en las estadísticas nacionales sobre energía. Estas cantidades deben ser expresadas o convertidas en terajulios (TJ) usando los valores calóricos netos (calentamiento débil) (véase el Capítulo 1 del Volumen 2 para consultar los valores por defecto del Sector IPPU). Seguidamente, las emisiones potenciales CO₂-equivalentes asociadas con el contenido de carbono pueden calcularse utilizando los valores de contenido de carbono específicos por país o los valores por defecto del IPCC (véase el Capítulo 1 del Volumen 2 para consultar los valores por defecto del IPCC).

Si en las estadísticas sobre energía, un país da cuenta por separado de los montos de producción de gases de productos derivados provenientes de los procesos químicos de producción, se los debe sumar, en la columna superior, a los montos asociados con las emisiones de CO₂ provenientes de la alimentación a procesos y a los montos correspondientes de CO₂-equivalente calculados usando los valores de contenido de carbono específicos por país.

Etapas 2: Atribución de las emisiones de CO₂ de las categorías de fuente a uno o más combustibles de alimentación a procesos

Las emisiones de CO₂ declaradas en el Sector IPPU que provienen principalmente de las industrias del metal y químicas, deben atribuirse a los tipos de combustible correspondientes utilizados como entradas del proceso. Las emisiones resultantes del uso no energético de combustibles fósiles, y declaradas en otros lugares, deben incluirse aquí también. Las orientaciones para realizar esta atribución se presentan en el Cuadro 1.3, donde, para cada subcategoría, el combustible de alimentación a procesos más común está marcado con un recuadro en

negrita. Los otros combustibles cuya utilización como sustancia para la alimentación a procesos para estas fuentes es conocida, están indicados con un recuadro normal. En la mayoría de los casos, estos recuadros representan las únicas atribuciones que deben ser verificadas para la aplicación específica por país. Si no hay información específica disponible, todas las emisiones de CO₂ pueden asignarse al recuadro en negrita. Allí donde la información específica por país indique que varios combustibles son utilizados como alimentación a procesos, pueden utilizarse tanto las fracciones específicas para cada combustible como asignársele a cada uno una idéntica fracción del total de la fuente.

Etapa 3: Acciones derivadas de la comparación

La fracción de CO₂ potencial efectivamente liberado puede calcularse por tipo de combustible o por grupos de combustible y evaluarse por su nivel, tendencia y variación a través de los años. Los valores de las fracciones pueden compararse con los valores inferidos de la información proporcionada respecto de los niveles metodológicos para las categorías de fuente o con valores tomados de publicaciones especializadas (p. ej., Neelis *et al.*, 2005).

Es previsible que se observen pequeñas discrepancias debido a diferencias entre las características tecnológicas u operacionales específicas de los procesos. Pueden surgir discrepancias importantes a partir de diferencias significativas entre tecnologías, de comparaciones realizadas con datos o publicaciones de otros países o del uso de una definición diferente para la alimentación a procesos (para más detalles, véase la Sección 1.3). Una tercera explicación para la aparición de discrepancias es que provengan de errores en la presunta atribución de emisiones de categoría de fuente a ciertos tipos de combustible utilizados como alimentación del proceso.

CUADRO 1.3 VERIFICACIÓN DE LA EXHAUSTIVIDAD DE LOS INFORMES DE CO₂ PROVENIENTE DEL USO NO ENERGÉTICO DE COMBUSTIBLES FÓSILES

NOTAS	Año: _____		Unidad	Coque	Alquitrán de hulla	Aceites de hulla	Gas BF/OF	(Gas CO) b)
	1							
2	A : NEU declarado (del balance de productos básicos)		TJ					
3	B: Contenido de carbono		kg C/GJ					
4	C: Total suministrado para alimentación/no-energía [C = A * B / 1000]		Gg C					
5	D: Total suministrado para alimentación/no-energía [D = C * 44/12]		Gg CO ₂ -eq.					
6	E: Fracción del carbono implicado que se oxida [E = F / D * 100]		%					
		Actividad a)	CO ₂ Emisiones a)	IEF CO ₂				
6	F: Total de CO ₂ fósil declarado en IPPU		Gg CO ₂					
2 PROCESOS INDUSTRIALES								
7	2A: Industria de los minerales (especifique la sub-categoría)		Gg CO ₂					
7	2B: Industria Química		Gg CO ₂					
	2B1:	Producción de amoníaco	Gg CO ₂					
	2B5:	Producción de carburo	Gg CO ₂					
	2B6:	Producción de dióxido de titanio	Gg CO ₂					
	2B8:	Producción petroquímica y de negro de humo	Gg CO ₂					
	2B8a:	Metanol	Gg CO ₂					
	2B8b:	Etileno	Gg CO ₂					
	2B8c:	Negro de humo	Gg CO ₂					
	2B10:	Otro	Gg CO ₂					
7	2C: Industria de los metales		Gg CO ₂					
	2C1:	Producción de hierro y acero	Gg CO ₂					
	2C2:	Producción de ferroaleaciones	Gg CO ₂					
	2C3:	Producción de aluminio	Gg CO ₂					
	2C5:	Producción de plomo	Gg CO ₂					
	2C6:	Producción de cinc	Gg CO ₂					
	2C7:	Otro	Gg CO ₂					
7	2D: Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente		Gg CO ₂					
	2D1:	Uso de lubricantes	Gg CO ₂					
	2D2:	Uso de ceras de parafina	Gg CO ₂					
	2D3:	Uso de solventes	Gg CO ₂					
	2D4:	Otro	Gg CO ₂					
7	2H: Otros		Gg CO ₂					
	2H1:	Industria de la pulpa y el papel	Gg CO ₂					
	2H2:	Industria de la alimentación y las bebidas	Gg CO ₂					
	2F3:	Otro	Gg CO ₂					
EXCEPCIONES DECLARADAS EN OTRAS FUENTES								
7	1A ACTIVIDADES DE QUEMA DE COMBUSTIBLES		Gg CO ₂					
	1A1a:	Actividad principal electricidad y producción de calor	Gg CO ₂					
	1A1b:	Refinamiento de petróleo	Gg CO ₂					
	1A1c:	Manufactura de combustibles sólidos y otras industria energía	Gg CO ₂					
	1A2:	Industrias manufactureras y de la construcción	Gg CO ₂					

- a) Los mismos datos sobre la actividad y las emisiones que en el cuadro de antecedentes por sector (también para Datos de la actividad NE, NO, C y para las emisiones NE, NO, IE, donde sea aplicable)
- b) Incluir sólo si la producción de coque se declara como parte de la producción integrada de hierro y acero
- 1: Debe especificarse por cada año
- 2: Refiérase a la Hoja de trabajo auxiliar para el Método de referencia del CO₂ para restar el NEU del consumo aparente total
- 3: Valores por defecto del IPCC o específicos del país
- 4: Denominadas emisiones potenciales, es decir, carbono integrado en los combustibles para alimentación/no-energética, expresado en equivalente- CO₂
- 5: Cociente de las emisiones de CO₂ (emisiones directas declaradas también como entradas atmosféricas de CO₂ desde otros carbonos (no CO₂)) a un cierto nivel de agregación (por tipo detallado de combustible o por combustible principal) sobre el total potencial de CO₂ en los combustibles NEU de alimentación consumidos
- 6: Suma de la sub-categorías indicadas más abajo, incluidas las fuentes IPPU atribuidas a las Actividades de consumo de combustibles 1A (debido a la transferencia de combustibles derivados hacia otra categoría de fuente (y 1B, 4C, cuando corresponda)
- 7: Suma de las sub-categorías de esa categoría

CUADRO 1.3 (CONTINUACIÓN) VERIFICACIÓN DE LA EXHAUSTIVIDAD DE LOS INFORMES DE CO₂ PROVENIENTE DEL USO NO ENERGÉTICO DE COMBUSTIBLES FÓSILES

NOTAS	Año: _____	Unidad	Líquidos											Total líquidos	Total gas		
			Nafta	Gasóleo	Fuelóleo	Etano	GPL b)	Coque de petróleo	Otro	Gas químico	Lubricantes	Ceras	Bitumen				
2	A : NEU declarado (del balance de productos básicos)	TJ															
3	B: Contenido de carbono	kg C/GJ															
	C: Total suministrado para alimentación/no-energía $[C = A * B / 1000]$	Gg C															
4	D: Total suministrado para alimentación/no-energía $[D = C * 44/12]$	Gg CO ₂ -eq.															
5	E: Fracción del carbono implicado que se oxida $[E = F / D * 100]$	%															
6	F: Total de CO₂ fósil declarado en IPPU	Gg CO ₂															
	PROCESOS INDUSTRIALES																
7	2A: Industria de los minerales	Gg CO ₂															
	(especifique la sub-categoría)																
7	2B: Industria Química	Gg CO ₂															
	2B1: Producción de amoníaco	Gg CO ₂															
	2B5: Producción de carburo	Gg CO ₂															
	2B6: Producción de dióxido de titanio	Gg CO ₂															
	2B8: Producción petroquímica y de negro de humo	Gg CO ₂															
	2B8a: Metanol	Gg CO ₂															
	2B8b: Etileno	Gg CO ₂															
	2B8c: Negro de humo	Gg CO ₂															
	2B10: Otro	Gg CO ₂															
7	2C: Industria de los metales	Gg CO ₂															
	2C1: Producción de hierro y acero	Gg CO ₂															
	2C2: Producción de ferroaleaciones	Gg CO ₂															
	2C3: Producción de aluminio	Gg CO ₂															
	2C5: Producción de plomo	Gg CO ₂															
	2C6: Producción de cinc	Gg CO ₂															
	2C7: Otro	Gg CO ₂															
7	2D: Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente	Gg CO ₂															
	2D1: Uso de lubricantes	Gg CO ₂															
	2D2: Uso de ceras de parafina	Gg CO ₂															
	2D3: Uso de solventes	Gg CO ₂															
	2D4: Otro	Gg CO ₂															
7	2H: Otros	Gg CO ₂															
	2H1: Industria de la pulpa y el papel	Gg CO ₂															
	2H2: Industria de la alimentación y las bebidas	Gg CO ₂															
	2F3: Otro	Gg CO ₂															
	EXCEPCIONES DECLARADAS EN OTRAS FUENTES	Gg CO ₂															
7	1A ACTIVIDADES DE QUEMA DE COMBUSTIBLES	Gg CO ₂															
	1A1a: Actividad principal electricidad y producción de calor	Gg CO ₂															
	1A1b: Refinamiento de petróleo	Gg CO ₂															
	1A1c: Manufactura combustibles sólidos y otras industria energía	Gg CO ₂															
	1A2: Industrias manufactureras y de la construcción	Gg CO ₂															

Nota: en el cuadro, los recuadros en negrita representan los principales combustibles utilizados como alimentación a procesos o agentes reductores para los procesos indicados a la izquierda. Los recuadros normales representan otras sustancias para la alimentación a procesos o reductores para los procesos indicados a la izquierda.

1.4.3.2 Verificación del balance de sustancias para la alimentación a procesos

El principio del método de *verificación del balance de la alimentación a procesos* consiste en comparar el suministro de sustancias para la alimentación a procesos y de reductores, tal como están declarados en las estadísticas nacionales sobre combustibles, con los requerimientos de alimentación de cada proceso que las utiliza. La existencia de una diferencia significativa entre los suministros y los requerimientos de una sustancia para alimentación a procesos conduce a varias acciones. Éstas se sugieren con el fin de identificar la omisión de utilidades de alimentación a procesos en el inventario de usos de los combustibles en tanto que alimentación a procesos que hayan sido declarados como consumo o como conversión de combustibles.

A diferencia de la *verificación de exhaustividad del CO₂*, la *verificación del balance de sustancias para la alimentación a procesos* se efectúa al nivel de las cantidades de combustibles y no de las cantidades de emisiones de CO₂. El método persigue obtener la confirmación de que el carbono de la alimentación a procesos haya sido atribuido satisfactoriamente a las categorías de fuente identificadas en el inventario.

Los detalles de aplicación del método se explican más abajo y se presentan en una hoja de trabajo lista para ser utilizada (Cuadro 1.5a). En el Cuadro 1.4 se presenta una lista de los combustibles que deben ser considerados.

CUADRO 1.4 LISTA DE COMBUSTIBLES FÓSILES QUE PUEDEN SER UTILIZADOS COMO PRODUCTOS QUÍMICOS INTERMEDIOS O COMO REDUCTORES				
Sólidos	Líquidos		Gases	Otros combustibles
carbón	gas de refinería	nafta	gas natural	otro combustible
coque metalúrgico*	etano	queroseno		desechos (carbono fósil)
coque de petróleo*	propano	gasóleo (diésel)		
alquitranes (de hulla) y óleos de carbón*	butano	fuelóleo		
	GPL	óleos de desecho		

* Incluye utilidades tales como los electrodos.

Etapa 1: Suministro de sustancias para la alimentación a procesos

Las cifras correspondientes a los suministros de sustancias para la alimentación a procesos y de reductores se toman de las estadísticas nacionales presentadas en los balances de productos básicos o de energía. Estas cifras se presentan como usos no energéticos o usos de alimentación a procesos, según las convenciones del país en particular, y los usos como reductores se presentan como entradas de los procesos de transformación. Estas cantidades deben ser expresadas (o convertidas) en terajulios (TJ) usando valores calóricos netos (calentamiento débil) (véase el Capítulo 1 del Volumen 2 para consultar los valores por defecto del IPCC).

Los fundamentos de las definiciones usadas en la generación de informes difieren de un país al otro y esta consideración se discute exhaustivamente en las Secciones 1.2.1 y 1.3.2. Por lo tanto, es necesario tomar ciertas precauciones y usar las cifras correctas para las entradas de hidrocarburos, que deben corresponderse con los requerimientos brutos de hidrocarburos de los procesos relacionados con la alimentación a procesos o con los reductores (incluidas las entradas no etiquetadas o etiquetadas parcialmente como utilidades no energéticas en las estadísticas sobre energía). Para la *verificación del balance de sustancias para la alimentación a procesos* descrito aquí, se requiere el valor de la entrada total de hidrocarburos en los procesos atribuida a los usos de las sustancias para la alimentación a procesos o de reductores. Esto, porque en las cifras del consumo específico en alimentación a procesos (SFC, del inglés, *Specific Feedstock Consumption*) de cada proceso, tal como están dadas en el cuadro, están incluidos los requerimientos de combustibles. El SFC corresponde al monto requerido (expresado en TJ/Gg) de sustancias para la alimentación a procesos o de reductores por tonelada de producto generado.

Etapa 2: Requerimientos de la alimentación a procesos

Los requerimientos de sustancias para la alimentación de cada proceso incluyen los combustibles tomados directa o indirectamente de las sustancias para la alimentación a procesos. Cuando los datos necesarios están

disponibles a partir de fuentes industriales, pueden introducirse en la parte «requerimientos» de la hoja de trabajo. Cuando no están disponibles, deben calcularse los requerimientos a partir de las cifras de producción para los procesos y, donde sea necesario, ha de recurrirse a un dictamen de expertos basado en las estimaciones de emisiones utilizadas para el (o los) procesos. Es probable que la cifra correspondiente a los requerimientos del proceso sea idéntica a la cantidad suministrada (tomada de las estadísticas sobre energía), pero *sólo cuando* esta última haya sido obtenida de fuentes industriales.

Cuando los requerimientos se calculan a partir de la producción utilizando la hoja de cálculo, las cifras de producción son las pertinentes para el proceso, en relación con la sustancia para la alimentación en cuestión. Si dos o más sustancias para la alimentación a procesos sirven de alimentación a un proceso único, deben utilizarse las cifras de producción correspondientes a cada sustancia.

En el Cuadro 1.5b se incluyen los factores SFC que vinculan las cifras de producción con los requerimientos en alimentación a procesos. Estos factores son los requerimientos específicos de sustancias para la alimentación de los procesos e incluyen el uso de estas sustancias como combustible. Los factores que se presentan en el Cuadro 1.5b han sido derivados a partir de los métodos descritos en este volumen de las *Orientaciones* y pueden ser considerados valores por defecto. Es una *buena práctica* utilizar factores nacionales si se puede demostrar que son más pertinentes que los factores por defecto ofrecidos aquí.

Si R_{ij} representa los requerimientos en alimentación a procesos del proceso i para la sustancia j , entonces el requerimiento total para la sustancia j (R_j), puede expresarse como:

ECUACIÓN 1.1
REQUERIMIENTO TOTAL DE SUSTANCIAS PARA LA ALIMENTACIÓN A PROCESOS

$$R_j = \sum_i R_{ij} = \sum_i (SFC_{ij} \cdot P_{ij})$$

Donde:

R_j = requerimiento total de la sustancia j , TJ

R_{ij} = requerimiento en alimentación de sustancia j para el proceso i , TJ

SFC_{ij} = Consumo específico en alimentación (SFC) de la sustancia j en el proceso i , TJ/Gg

P_{ij} = producción del proceso i al usar la sustancia j , Gg

El R_j se compara luego con la cifra correspondiente al suministro de la sustancia j . La diferencia aparece en el Cuadro 1.5a. El procedimiento de implementación de esta verificación se expone en el diagrama de flujo de la Figura 1.3

Etapas 3: Acciones derivadas de la comparación

En el caso de que la diferencia exceda el 10 por ciento del valor del suministro de la sustancia para la alimentación del proceso, se sugiere que se tomen las medidas para verificar los datos y que, si las diferencias se confirman, el caso sea investigado. El umbral del 10 por ciento es necesariamente arbitrario y se ha escogido para reflejar las probables incertidumbres generales inherentes a los datos.

Se considera una *buena práctica* concentrar la investigación en las diferencias para las cuales el suministro de sustancias para la alimentación a procesos excede por mucho los requerimientos aparentes, pues esto indica que:

- Algunos procesos, y por ende, sus fuentes de emisiones, pueden haber sido omitidos; o bien
- Los requerimientos específicos de energía utilizados en el método son muy bajos. Los requerimientos específicos de energía deben ajustarse entonces para que reflejen la situación nacional.

Cuando los requerimientos calculados exceden el suministro aparente de sustancias para la alimentación a procesos, esto indica que:

- Los usos de combustibles como alimentación a procesos han sido declarados en otros rubros, tales como usos en la quema de combustibles o en la conversión de combustibles.
- Puede ser que en las estadísticas sobre energía se haya utilizado la definición «neta» en vez de la definición «bruta» (véanse las referencias al etileno y a otros productos químicos en la Sección 1.3.2).
- Los requerimientos en sustancias para la alimentación a procesos, determinados directamente de fuentes industriales, han sido sobreestimados debido a la inclusión de combustibles que entran en la planta (o más generalmente, en la categoría de fuente) sin ser utilizados en el proceso y que, por lo tanto, no corresponden a usos de alimentación a procesos. La inclusión de combustibles no relacionados con la alimentación a

procesos no debería ocurrir cuando los requerimientos en sustancias para la alimentación a procesos se infieren de los datos de producción.

En el caso de que se mantengan discrepancias significativas, se deben enumerar las causas más probables tomando en cuenta el grado de exactitud de los cálculos realizados con los valores por defecto del Consumo específico de sustancias para la alimentación a procesos (SFC) por combinación de categoría de fuente y de la sustancia en particular.

CUADRO 1.5A COMPARACIÓN DE LOS SUMINISTROS DE SUSTANCIAS PARA LA ALIMENTACIÓN A PROCESOS CON LOS REQUERIMIENTOS INFERIDOS DE LA PRODUCCIÓN

AÑO	Sustancia o Ag. Reductor (TJ)	Proceso SFC (TJ/Gg)	Producción (Gg [= kt])
Sustancia de alimentación			
Cantidad suministrada			
Diferencia			
Sustancias químicas	Prodn. amoníaco Carburo de silicio Carburo de calcio Etileno Metanol Negro de humo Otro	↑ Valores del Cuadro 1.5b	
Metales	Hierro y acero Ferroaleaciones Aluminio Cinc Plomo Otro	↓	

El Cuadro 1.5a es la forma reducida del cuadro completo, en el cual la parte tabular aparece repetida tantas veces como el número que haya de sustancias de alimentación para el proceso. En cada repetición se reemplaza el título de la columna 1, «Sustancia o Ag. reductor» (*“Feedstock or Reductant”*) por el nombre del combustible. Los valores correspondientes de SFC se inscriben en la columna 2. Los valores de SFC por defecto se presentan en el Cuadro 1.5b, más abajo.

En el CDROM *Directrices de 2006* se proporciona una hoja de cálculo Excel que contiene el Cuadro completo (en inglés), los valores por defecto y las fórmulas para efectuar automáticamente el cálculo de los requerimientos.

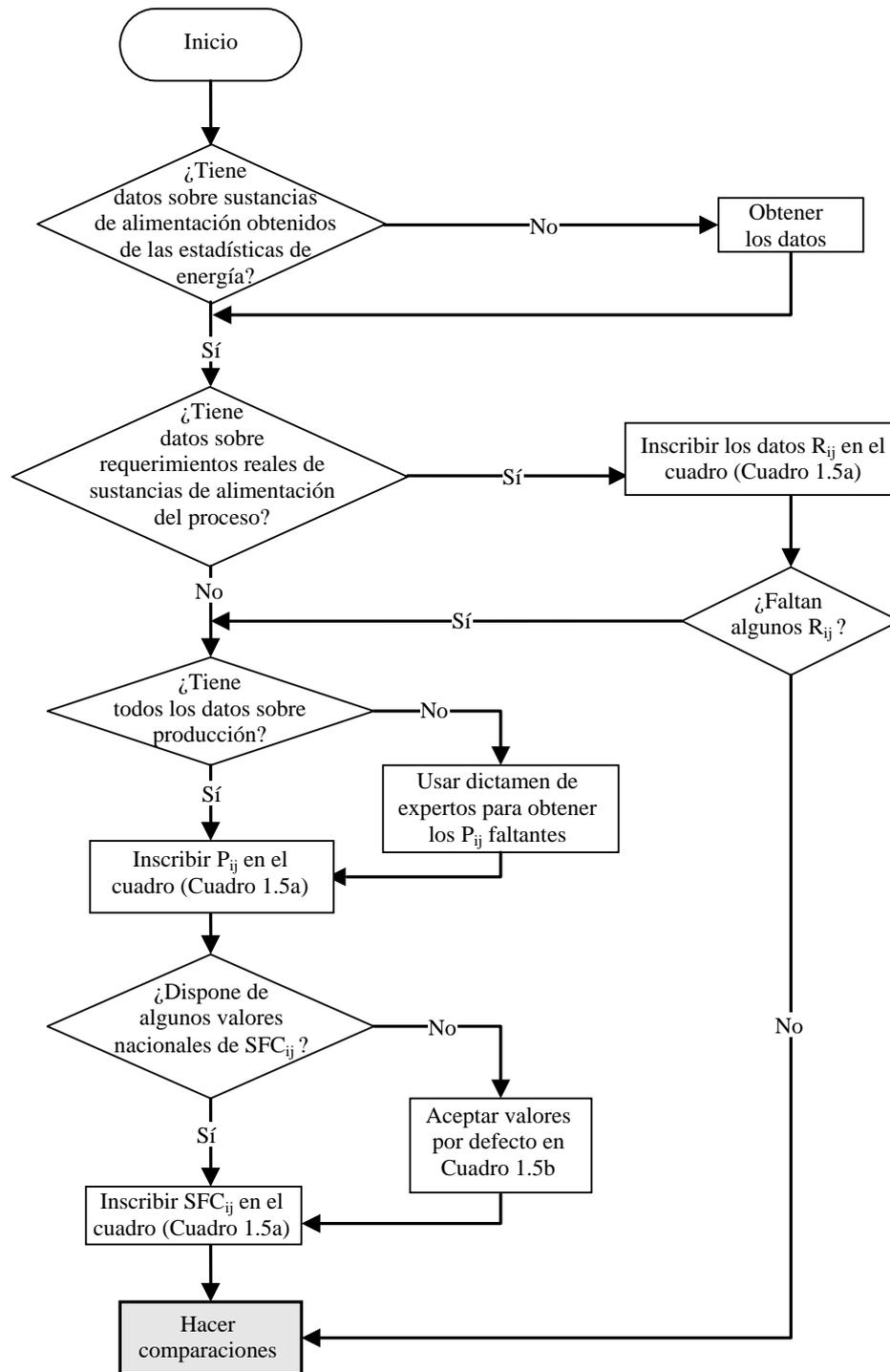
CUADRO 1.5B CONSUMO ESPECÍFICO DE SUSTANCIAS PARA LA ALIMENTACIÓN A PROCESOS (TJ/Gg) Y/O REDUCTORES

Sustancia	Carbón	Coque metalúrgico	Coque de petróleo	Gas de refinería	Etano	Propano	Butano	LPG	Nafta	Querosén	Gasóleo	Fuelóleo	Aceites de desecho	Gas natural
Prod. amoníaco												43(l)		38(o)
Carburo de silicio			37(e)											
Craburo de calcio			21(f)											
Etileno					58(j)	100(k)	104(k)	102(k)	137(k)					
Metanol	72(a)											37(m)		34(p)
Negro de humo			60(h)									60(n)		12(q)
Otro														
Hierro y acero		10(b)												
Ferroaleaciones														
Aluminio			12(g)	3(i)										
Cinc		21(c)												
Plomo		7(d)												
Otro														

NOTAS

- (a) **Metanol:** de la Sección 3.9.2.2; Cuadro 3.13 Consúltese el cuadro para obtener el valor preciso según el proceso usado.
- (b) **Hierro y acero:** de la Sección 4.2.2.3; «Los factores de conversión proporcionados en el Cuadro 6.2 del Documento del IPPC son de 940 Kg. de arrabio por tonelada de acero líquido y de 358 Kg. de coque por tonelada de arrabio.» de modo que el requerimiento de coque es de $0,358 \times 28,2$ GJ/tonelada (cv coque) = 10 GJ/tonelada de hierro.
- (c) **Cinc:** de la Sección 4.7.1 (sólo el proceso pirometalúrgico), tomado de Sjardin (2003); El consumo de coque es de 0,74 toneladas de coque/tonelada de cinc. Esto es: $0,74 \times 28,2$ GJ/tonelada (cv coque)=21 GJ/tonelada de cinc
- (d) **Plomo:** tomado de Sjardin (2003); El consumo de coque es de 0,26 toneladas de coque/tonelada de plomo. Esto es: $0,26 \times 28,2$ GJ/tonelada (cv coque) = 7GJ/tonelada de plomo
- (e) **Carburo de silicio:** de la Sección 3.6.2.2: «Esto implica un factor de emisión típico de 2,3 toneladas de CO₂/tonelada de coque de petróleo utilizado (IPCC, 1966), ó 2,62 toneladas de CO₂/tonelada de carburo producido » De modo que el requerimiento es de $2,62/2,3 = 1,14$ toneladas de coque de petróleo/tonelada de carburo.
- (f) **Carburo de calcio:** de la Sección 3.6.2.2: «1750 Kg. de piedra caliza (ó 950 Kg. de CaO), 640 Kg. de coque de petróleo y 20 Kg. de electrodos de carbono son necesarios para producir 1 tonelada de carburo.»
- (g) **Aluminio:** de la Sección 4.4.2.2; Cuadro 4.11, promedio de dos procesos $1,65$ toneladas de CO₂/tonelada de Al = $0,45$ toneladas de C/tonelada de Al. Se supone que los ánodos contienen un 84% de coque y un 16% de brea (Sjardin 2003). Se supone que el coque contiene 92% de C y la brea 93% de C. Se supone que el VCN para el coque calcinado es de 30 MJ/Kg. y que el VCN para la brea es de 35,6 MJ/Kg.
- (h) **Negro de humo:** Se supone idéntico al fuelóleo. Véase Nota (n) más abajo.ás abajo.
- (i) **Aluminio:** véase Nota (g), más arriba.
- (j) **Etileno:** de la Sección 3.9.2.3; Cuadro 3.25, el requerimiento de etano es: VCN para el etano x 1/valor de matriz rendimiento. Esto es, $46,4 \times 1/0,803 = 58$ GJ/tonelada
- (k) **Etileno:** el requerimiento de sustancia de alimentación al proceso puede derivarse igual que para el etano. Véase Nota (j), más arriba.
- (l) **Amoníaco:** de la Sección 3.2.2.2; Cuadro 3.1; Se supone oxidación parcial.
- (m) **Metanol:** de la Sección 3.9.2.2; Cuadro 3.13; Consúltese el cuadro para obtener el valor preciso según el proceso usado.
- (n) **Negro de humo:** basado en Voll et al. (1997) y en «*Integrated Pollution Prevention and Control*» (IPPC) de la UE (2004), Cuadro 4.13.
- (o) **Amoníaco:** de la Sección 3.2.2.2; Cuadro 3.1.
- (p) **Metanol:** de la Sección 3.9.2.2; Cuadro 3.13; Consúltese el cuadro para obtener el valor preciso según el proceso usado.
- (q) **Negro de humo:** basado en Voll et al. (1997) y en «*Integrated Pollution Prevention and Control*» (IPPC) de la UE (2004), Cuadro 4.13.

Figura 1.3 Diagrama de flujo para la verificación de la exhaustividad en la contabilización de los usos no energéticos de combustibles



Nota :

R_{ij} = requerimientos de sustancias de alimentación del proceso i para la sustancia j , Tj
 SFC_{ij} = Consumo de la sustancia específica de alimentación j en el proceso i , Tj/Gg
 P_{ij} = producción del proceso i usando la sustancia de alimentación j , Gg

1.4.4 Generación de informes y documentación sobre la atribución y el CC de la exhaustividad.

Es una *buena práctica* revisar, resumir y documentar la exhaustividad de las verificaciones efectuadas para los usos no energéticos de los combustibles y las emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles. Comprende la identificación de los usos dentro del Sector IPPU y las actividades de quema de combustibles (Categoría 1A) en los Sectores Energía, tal como se analiza en esta sección.

Existen diferentes métodos nacionales para contabilizar el uso de los combustibles como sustancias para la alimentación a procesos en las estadísticas sobre energía y en algunos casos excepcionales se da la posibilidad de declarar una parte del CO₂ en el Sector Energía (véanse las Secciones 1.2.1 y 1.3.2). En consecuencia, es una *buena práctica* mostrar en el informe de inventario:

- Dónde y cómo se ha contabilizado el uso *no energético* de los combustibles en el inventario (ya sea en el Sector Energía o en el Sector Procesos industriales y uso de los productos (IPPU) (Sección 1.4.4.1).
- Dónde y cómo se han contabilizado en el inventario las emisiones de carbono que no provienen del CO₂. Estas emisiones resultan de procesos sin combustión y no biogénicos que incluyen el carbono fósil, como es el caso del uso de solventes.
- Los resultados de las *verificaciones de exhaustividad* que se hayan realizado, cuando sean aplicables. Los detalles de las actividades de control de calidad de la exhaustividad deben mantenerse como documentación interna (Sección 1.4.4.2), en concordancia con las orientaciones sobre GC/CC (véase el Capítulo 6 del Volumen 1).

El primer punto se refiere a la atribución de las emisiones correspondientes en el Sector IPPU o tal vez en las Actividades de quema de combustible (Categoría 1A) del Sector Energía, y a la definición de «no energético» o «alimentación a procesos» utilizada en las estadísticas nacionales sobre energía. Según la definición dada para las categorías de fuente, la contribución de las emisiones de CO₂ provenientes del uso de la alimentación a procesos y del uso no energético varía desde menos del uno por ciento hasta el 5 por ciento de las emisiones nacionales totales de CO₂ relacionadas con los combustibles fósiles.

La descripción de la verificación de la exhaustividad debe explicar toda atribución de una fuente particular a varios sectores. Debe explicarse en particular cómo se han realizado los ajustes a las emisiones de los procesos industriales en los casos en los que los productos derivados de los combustibles (descargas gaseosas o venteo de gases de los procesos) hayan sido transferidos a otra categoría de fuente del Sector IPPU o del Sector Energía.

1.4.4.1 Atribución del CO₂ proveniente de usos no energéticos

El Cuadro 1.6 puede ser utilizado para documentar y comunicar la información indicada más abajo, resumir las subcategorías en las cuales se declaran las emisiones sectoriales de CO₂ (distintas de las que proceden de la quema de combustibles) provenientes de los combustibles fósiles utilizados. Las cantidades de cada tipo de combustible consumido para propósitos no energéticos (correspondientes al carbono excluido en el Método de referencia del CO₂) deben registrarse como documentación interna. Ello está relacionado con lo siguiente:

- La división entre *emisiones de procesos de fabricación* declaradas en el Sector IPPU y *emisiones de quema de combustibles* declaradas en el Sector Energía.
- La atribución de emisiones de CO₂ provenientes del *uso directo* de «combustibles» debido a sus propiedades físicas y del *uso* de productos químicos en el Sector IPPU. Se abordan las emisiones procedentes de la *eliminación de los desechos* de estos productos (p. ej., la incineración) en el Sector Desechos.

En el cuadro para declarar atribuciones (Cuadro 1.6) el «tipo de combustible de uso no energético NEU primario» (NEU, del inglés, *Non Energy Use*) y «Otros tipos de combustibles NEU» deben ser introducidos para cada categoría. Las mismas emisiones de CO₂ declaradas en el cuadro de antecedentes sectoriales de IPPU se introducen en la columna de emisiones IPPU (o bien en las claves de notación NE, NO, IE, donde sea aplicable). Luego, las emisiones de CO₂ relacionadas con el uso de combustibles fósiles con propósitos no energéticos y que son declaradas en otras categorías de fuente fuera del sector IPPU, se suman a las subcategorías 1A apropiadas. Estas emisiones se etiquetan en las categorías de fuente IPPU como incluidas (parcialmente) en algún otro lugar del informe IPPU con una referencia al lugar en el cual son declaradas. De esta manera, el cuadro incluye todas las emisiones del Sector IPPU, sea donde fuere que se declaren y documenta así un informe completo sobre estas emisiones en los Sectores IPPU y Energía.

La inclusión del Sector Energía mejora la transparencia de los informes sobre las emisiones de CO₂ respecto de las emisiones provenientes de gases de desecho y otros gases, tales como los gases de altos hornos. Estos gases son producidos por procesos industriales, pero se los usa para la quema de combustibles en otros sectores económicos y, por lo tanto, se declaran en el Sector Energía.

1.4.4.2 Exhaustividad del CO₂ proveniente de usos no energéticos

Además de resumir la revisión de la atribución y exhaustividad de las emisiones provenientes de usos no energéticos de los combustibles fósiles, es una *buena práctica* documentar el informe mediante:

- Una descripción de los métodos de cálculo utilizado para las emisiones en las respectivas secciones de categorías de fuente del informe. Debe incluir la causal de divergencia de atribución respecto de lo sugerido en la clasificación de fuentes del IPCC, cuando sea aplicable.
- Los resultados de la *verificación de la exhaustividad del CO₂*, en el caso de que se haya efectuado, al menos para el año de base (hasta donde los datos lo permitan) y para el último año declarado, presentados en un cuadro como el Cuadro 1.3, en calidad de documentación interna.
- Si se ha efectuado la *verificación del balance de la alimentación a procesos*, un cuadro que muestre la diferencia entre la estimación inferida del consumo de sustancias para la alimentación a procesos y las entregas de tales sustancias; al menos para el año de base (hasta donde los datos lo permitan) y para los dos años más recientes (como en el Cuadro 1.5a, por ejemplo), en calidad de información interna.
- Una explicación de las discrepancias significativas inesperadas, si las hay, en cuanto a nivel y tendencia. Debe incluir la causa principal de dichas diferencias.
- Conclusiones de la comparación en términos que indiquen si hay emisiones significativas de CO₂ que parecen ausentes y, de ser el caso, en qué parte del inventario éstas ocurren, así como una estimación de la magnitud de estas omisiones.

CUADRO 1.6					
ATRIBUCIÓN DEL CO₂ PROVENIENTE DEL USO NO ENERGÉTICO DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES					
Categoría	Declarado en el año:				Notas
	Combustible NEU primario ⁽¹⁾	Otro combustible NEU ⁽¹⁾	Cantidad de emisiones declaradas en Sector IPPU CO ₂ ⁽²⁾ (Gg)	Si declarado en otro lugar: Subcategoría en 1A donde estas emisiones están (parcialmente) declaradas	
2 Procesos industriales y uso de productos					
2A Industria de los minerales					
(Sírvasse especificar la subcategoría)	(carbón, ..)				4
2B Industria química					
2B1 Producción de amoníaco	gas natural	petróleo, carbón			
2B5 Producción de carburo	coque de petróleo	petróleo			
2B6 Producción de dióxido de titanio	carbón				
2B8 Producción petroquímica y de negro de humo					
2B8a Metanol	gas natural	petróleo, carbón			5
2B8b Etileno	nafta	gasóleo (diésel); butano, etano, propano, GPL			5
2B8f Negro de humo	gas natural	petróleo, gas de horno de coque			
2B10 Otros					
2C Industria de los metales					
2C1 Producción de hierro y acero	coque	carbón, coque de petróleo (electrodo de carbón)			6
2C2 Producción de ferroaleaciones	(electrodo de carbón)	coque metalúrgico, carbón			7
2C3 Producción de aluminio	(electrodo de carbón)	coque metalúrgico, carbón			7
2C5 Producción de plomo	coque				
2C6 Producción de zinc	coque				
2C7 Otros	(electrodo de carbón)	coque metalúrgico, carbón			
2D Productos no energéticos de combustibles y uso de solvente					
2D1 Uso de lubricante	lubricantes	grasas			
2D2 Uso de la cera de parafina	ceras				
2D3 Uso de solvente	(trementina mineral)	alquitranes (de hulla) y aceites de hulla			8
2D4 Otros					9
2H Otros					
2H1 Industria de la pulpa y del papel					
2H2 Industria de la alimentación y la bebida	coque				
2H3 Otros					
1 ENERGÍA					
1A Actividades de quema de combustible			Declarado en el Sector 1A ⁽³⁾		
1A1a Producción de electricidad y calor como actividad principal	(gas BF)	(descargas gaseosas químicas)			10
1A1b Refinación del petróleo					
1A1c Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas	gas BF				
1A2 Industrias manufactureras y de la construcción	(gas BF)	(lubricantes, descargas gaseosas químicas)			

- (1) Las columnas «Combustible NEU primario» y «Otro combustible NEU» deben completarse con los combustibles efectivamente utilizados.
- (2) Estas son las mismas emisiones declaradas en el cuadro de antecedentes sectoriales (tienen también las mismas claves de notación NE, NO, IE, donde sea aplicable). Si ha sido (parcialmente) declarado en otro lugar, debe agregarse una referencia a esa otra fuente en la columna siguiente.
- (3) Declare aquí sólo las emisiones provenientes de la combustión de gases de desecho producidas por procesos industriales, pero utilizados para la quema de combustibles en otros sectores económicos y declarados en el Sector Energía (p.ej. de la combustión de gases de altos hornos o descargas gaseosas químicas transferidas fuera de la instalación hacia otra categoría de fuente).
- (4) Por ejemplo, el carbón pulverizado de antracita puede usarse en la producción de vidrio (2A3).
- (5) En los casos en los que se da cuenta totalmente de la producción de descargas gaseosas (p.ej. gases derivados) en las estadísticas sobre energía, la combustión de estos gases puede ser utilizada para calcular y declarar las emisiones de CO₂ provenientes de las fugas en la alimentación a procesos. Una parte de las descargas gaseosas puede quemarse fuera de la instalación (p. ej., en un sector que no sea la industria petroquímica) y por lo tanto debe contabilizarse separadamente como quema de combustibles en el Sector Energía.
- (6) Una parte del gas de altos hornos proveniente del coque utilizado en los altos hornos puede quemarse fuera de la instalación (p. ej., en un sector que no sea la industria del hierro y del acero) y por lo tanto debe contabilizarse separadamente como quema de combustibles en el Sector Energía.
- (7) Los electrodos de carbón se fabrican generalmente del coque, del carbón o de alquitranes, ya sea en la instalación por los mismos usuarios, o bien separadamente por plantas de producción de ánodos y son vendidos luego en el país y/o exportados. Si los ánodos son también importados o exportados, no existe una correspondencia directa entre los combustibles usados para la producción de ánodos y las cantidades de ánodos utilizados en el país.
- (8) Las trementinas minerales se utilizan frecuentemente como solventes, mezclas probablemente con otros líquidos. Los productos aromáticos derivados del carbón pueden utilizarse también como solventes.
- (9) Las emisiones de la producción de asfalto, de la pavimentación de rutas y de la impermeabilización de los techos deben declararse bajo 2D4. Sin embargo, el alquitrán —y otros aceites utilizados como diluyentes o «road oils»— usados para esta actividad no producen emisiones de CO₂.
- (10) El CO₂ proveniente de los gases de altos hornos y de descargas gaseosas químicas debe declararse aquí sólo cuando se utilice en la producción de fuerza o calor públicas.

1.5 OPCIÓN ENTRE EL MÉTODO POR EQUILIBRIO DE MASAS Y EL MÉTODO POR FACTOR DE EMISIÓN

1.5.1 Introducción

Los capítulos 7 y 8 describen numerosos métodos para estimar las emisiones de HFC, PFC, y SF₆ provenientes de equipos presurizados de larga vida, incluidos los de aire acondicionado y refrigeración, equipos eléctricos y equipos contra incendios. En general, estos métodos se agrupan en dos categorías: (1) los métodos basados en un equilibrio de masas del consumo químico y de los cambios en las existencias de equipos, y (2) los métodos basados en bancos de productos químicos y en factores de emisión. Tanto el método por equilibrio de masas como el de factores de emisión pueden ser aplicados en varios niveles de agregación, incluidos, de mayor a menor, los niveles: mundial, regional y nacional. Los niveles más avanzados de desagregación varían según el tipo de emisiones. Para las emisiones descritas en el Capítulo 8 (SF₆ proveniente de equipos eléctricos, por ejemplo), es posible aplicar métodos al nivel de las instalaciones o de las etapas del ciclo de vida de los equipos en las instalaciones. En relación con el Capítulo 7 (HFC y PFC provenientes de los equipos de aire acondicionado, refrigeración y contra incendios, por ejemplo), pueden aplicarse métodos al nivel de la aplicación (Nivel 1) o de la sub-aplicación (Nivel 2). Ambos tipos de método pueden ser también de gran exactitud pero, según las circunstancias y la disponibilidad de los datos, uno puede ser más exacto que el otro. En esta sección se describen los métodos por equilibrio de masas y de factores de emisión, así como las *buenas prácticas* para optar por uno de ellos según las circunstancias nacionales.

1.5.2 Méritos e inconvenientes del método por equilibrio de masas

El *método por equilibrio de masas* efectúa el seguimiento de la cantidad de un nuevo producto químico introducido cada año en el país, en la instalación o en las existencias de un equipo (al nivel de aplicación y de sub-aplicación). Este método contabiliza luego la parte de este nuevo producto químico que se utiliza para completar las capacidades de los nuevos equipos o reemplazar el gas destruido. Se presupone que el consumo del cual no se puede dar cuenta reemplaza a un gas emitido o es emitido como tal.

El método por equilibrio de masas posee la importante ventaja de reflejar las emisiones reales en el lugar donde se producen, al capturar las diferencias, no sólo entre tipos de instalaciones y tipos de equipo, sino entre instalaciones individuales y entre partes de los equipos. Por lo tanto, el método por equilibrio de masas tiende a ser más exacto allí donde los índices de emisión varían entre los equipos y entre las instalaciones y, en cierta medida, donde estos índices varían con el transcurso del tiempo. Debido al hecho de que los índices de emisión varían con frecuencia, y a menudo de manera impredecible, es una *buen práctica* utilizar el método por equilibrio de masas en vez del método por factor de emisión. Debe hacerse siempre y cuando: (1) se disponga de datos de gran exactitud sobre las actividades que conciernen al método por equilibrio de masas, y (2) ninguna de las desventajas descritas más abajo sean aplicables al proceso o al equipo cuyas emisiones estén siendo estimadas.

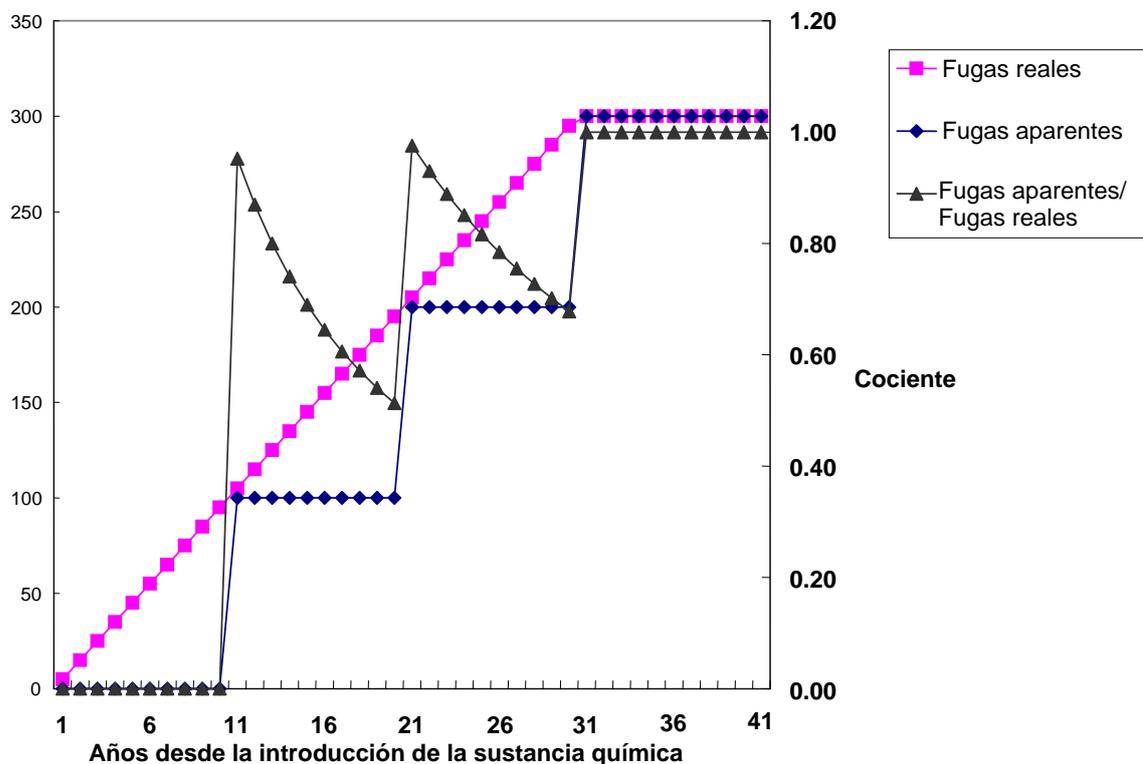
El método por equilibrio de masas tiene dos desventajas. Primero, el grado de exactitud está limitado por la precisión de los aparatos de medida de la masa, la densidad y la presión, el cual se sitúa alrededor de ± 1 o ± 2 por ciento. Si sucede que el índice de emisión de un proceso (tal un equipo o una instalación) está dentro de este rango (p. ej., 3 por ciento de la capacidad nominal anual o menos), entonces el método por equilibrio de masas resulta inexacto para ese proceso.

Segundo, el método por equilibrio de masas detecta algunas emisiones después de producidas, a veces varios años después. Esto se debe al hecho de que los equipos que sufren fugas lentas pueden operar durante años, o aún decenios, con una carga inferior a la máxima. Este retardo puede reducir drásticamente el grado de exactitud en los lugares donde el mantenimiento no es frecuente y/o las existencias crecen con rapidez. Es el caso más probable para: (1) los tipos de equipos que no son recargados casi nunca durante su vida útil (p. ej., los equipos eléctricos sellados bajo presión y los equipos de aire acondicionado y de refrigeración herméticamente sellados, tales como los refrigeradores domésticos); y (2) los países que han comenzado sólo recientemente a utilizar equipos eléctricos que contienen SF₆ y/o equipos de aire acondicionado y de refrigeración que contienen HFC. En el último caso, el método por equilibrio de masas subestima significativamente las emisiones durante los pocos primeros años de utilización de los equipos porque el consumo de productos químicos de recarga de éstos es cercano a cero hasta que el primer conjunto de equipos sea recargado por primera vez. En el caso de los

equipos eléctricos, puede no suceder hasta 10 ó 20 años después de la introducción de los equipos en el país, según el índice de fugas del equipo en cuestión. En el caso de los equipos de aire acondicionado y de refrigeración, puede no ocurrir hasta 5 ó 20 años después de la introducción de los equipos, también según el índice de fugas de gases en los equipos.

En las Figuras 1.4 y 1.5 se ilustra el «error de retardo» asociado con el método por equilibrio de masas para estas dos situaciones. En la Figura 1.4 la atención se concentra en el error que puede ocurrir cuando los países comenzaron hace poco a utilizar equipos eléctricos que contienen SF₆ o equipos de aire acondicionado que contienen HFC. En este ejemplo, el equipo recibe mantenimiento (es recargado) cada 10 años y tiene un tiempo de vida de 30 años. Se presupone que las ventas anuales de equipos permanecen constantes, pero que las existencias totales de equipos crecen hasta que se alcanza el tiempo de vida útil del equipo. Para los efectos de la ilustración, se presupone que las fugas corresponden al 100 por ciento de las emisiones (es decir, se supone que las emisiones durante la instalación, el mantenimiento y la eliminación son nulas).

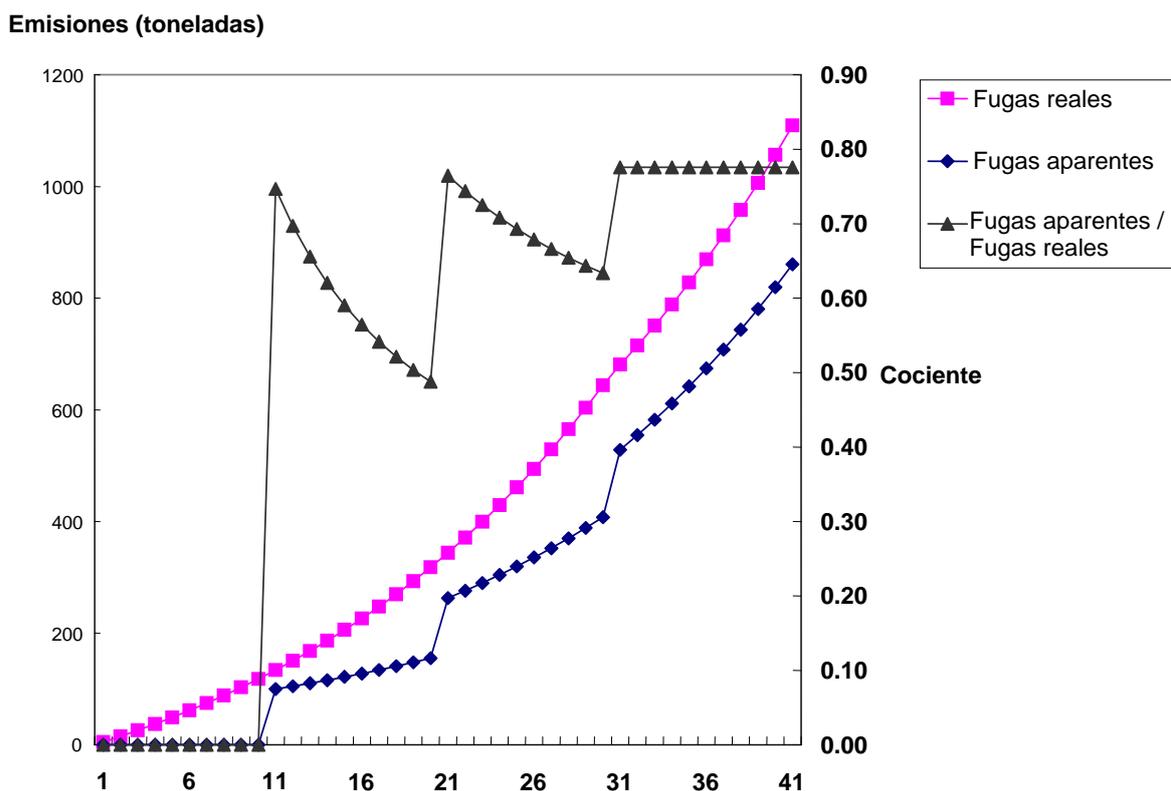
Figura 1.4 Fugas aparentes versus reales; sin crecimiento anual de las ventas de equipos (10 años en servicio, 30 años de vida útil)



En la Figura 1.4, luego de la introducción del producto químico por primera vez en el equipo, las emisiones («Fugas reales») crecen con rapidez, en la medida en la que el banco de productos químicos en las existencias de equipos se duplica en el segundo año, se triplica en el tercero y cuadruplica en el cuarto. Sin embargo, las ventas del producto químico de recarga («Fugas aparentes») permanecen próximas a cero hasta el año 11, cuando el equipo que fuera instalado en el año 1 es recargado por primera vez. En el año 21, las ventas vuelven a subir, puesto que, por primera vez, dos conjuntos de equipos reciben mantenimiento. Cuando los equipos comienzan a ser retirados, las fugas aparentes suben hasta igualar las fugas reales (lo cual resulta en una razón de 1,0) y el error de retardo desaparece.

En la Figura 1.5 se describe la misma situación que en la Figura 1.4, salvo que en este caso, se presupone que las ventas anuales de equipos crecen en un 5 por ciento anual. La relación entre las fugas aparentes y reales es muy similar a la que se muestra en la Figura 1.4 hasta que el equipo comienza a ser retirado. En ese punto, las fugas aparentes crecen, pero no alcanzan nunca a igualar las reales. En vez de ello, la relación entre fugas aparentes y reales se estabiliza en torno a un valor constante de equilibrio, de 0,78 en esta simulación.

Figura 1.5 Fugas aparentes versus reales; 5 por ciento de crecimiento anual de las ventas de equipos (10 años en servicio, 30 años de vida útil)



En general, si el tiempo medio entre sucesos de recarga es R, el método por equilibrio de masas da como resultado una estimación muy deficiente de las emisiones hasta que R+1 años hayan transcurrido desde la introducción del producto químico en el país.⁵

1.5.3 Méritos e inconvenientes del método por factor de emisión

El *método por factor de emisión* iguala las emisiones con el producto de un factor de emisión multiplicado por: (1) la capacidad nominal de un equipo que usa o retiene un producto químico, o (2) el banco de un producto químico; (Estas cantidades son similares pero no necesariamente idénticas) Por fortuna, allí donde el método por equilibrio de masas tiende a ser inexacto, se puede utilizar el método por factor de emisión. Sin embargo, la robustez y fiabilidad de un modelo factor-emisión depende mucho del grado de exactitud continuado en el

⁵ El grado máximo de exactitud a largo plazo del método por equilibrio de masas depende de la frecuencia de las recargas de los equipos, de la tasa de crecimiento de las ventas de nuevos equipos y de la fracción de emisiones representadas por las fugas. El grado de exactitud puede ser estimado utilizando las expresiones siguientes (para existencias de equipos que crecen exponencialmente): El grado de exactitud puede estimarse por medio de la expresión siguiente (para un crecimiento exponencial de las existencias de equipos):

$$\frac{FugasAparentes}{FugasReales} = \frac{R[\ln(1+g)]}{(1+g)^R - 1}$$

donde R = número de años entre recargas y g = tasa de crecimiento anual de la venta de equipos. (Nótese que ésta es igual a la tasa de crecimiento de las existencias una vez alcanzado el equilibrio).

Donde F = es la fracción del total de emisiones que representan las fugas, vale también la ecuación siguiente:

$$\frac{EmisionesAparentes}{EmisionesReales} = F \left(\frac{FugasAparentes}{FugasReales} \right) + (1 - F)$$

Si los compiladores del inventario pueden obtener datos sobre las variables de esta ecuación, podrán usarlos tanto para cuantificar como para compensar el error de retardo a largo plazo asociado con el método por equilibrio de masas (Schaefer, 2002).

tiempo de sus factores de emisión. Además, los factores de emisión para estas categorías (p. ej., productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono) y SF₆ de los equipos eléctricos) no existen para todas las regiones del mundo.

Los índices de emisión pueden variar mucho de una instalación a otra y entre diferentes tipos de equipo, así como con el tiempo. Esto sucede según el diseño de los equipos (que varía según la fecha y el lugar de fabricación), de las prácticas de manipulación, de la disponibilidad de equipos de manejo de última generación, de los precios de los productos químicos, de la legislación (es decir, de las exigencias en materia de recuperación de productos químicos), así como de otros factores. Por lo tanto, es una *buena práctica* desarrollar factores de emisión que utilicen una muestra representativa de las instalaciones y de los tipos de equipo, así como verificar estos factores por lo menos cada cinco años.

Los métodos de factor-emisión de Nivel 3 explicados en el Capítulo 8, así como los métodos factor-emisión de Nivel 2 (métodos de Nivel 2a) explicados en el Capítulo 7, requieren que el país y/o sus instalaciones lleven registros detallados sobre los métodos escogidos para verificar y validar los factores de emisión. Los factores de emisión deben ser ajustados, cuando fuere necesario, para garantizar que las estimaciones de las emisiones estén vinculadas, en última instancia, con las mediciones de las fugas efectivas de gas (es decir, según lo determinado a partir de las ventas de productos químicos y/o las recargas de los equipos).

En el Cuadro 1.7 se resumen los principios, los méritos y los inconvenientes de los métodos por equilibrio de masas y por factor de emisión.

CUADRO 1.7	
OPCIÓN ENTRE EL MÉTODO POR EQUILIBRIO DE MASAS Y EL MÉTODO POR FACTOR DE EMISIÓN	
Método por equilibrio de masas	Método por factor de emisión
Desarrollo: efectúa el seguimiento de nuevos productos químicos introducidos cada año en el país o en la instalación, dando cuenta del gas que se utiliza para cargar la capacidad de los nuevos equipos o para reemplazar el gas destruido. Se supone que el consumo del cual no se puede dar cuenta corresponde al gas emitido, o bien lo reemplaza.	Desarrollo: iguala las emisiones al producto de un factor de emisión multiplicado por: (1) la capacidad nominal del equipo que utiliza y retiene un producto químico, o (2) el banco de un producto químico. (Cantidades similares pero no necesariamente idénticas)
Nivel de agregación: tanto el método de equilibrio de masas como el de factores de emisión pueden ser aplicados en varios niveles de agregación. Para los equipos eléctricos, incluye el país, la instalación y la etapa del ciclo de vida útil del equipo dentro de la instalación. Para los equipos de aire acondicionado, refrigeración y contra incendios, incluyen la aplicación, la sub-aplicación o los tipos de equipo con niveles de desagregación aún más detallados.	
Es más exacto donde: <ul style="list-style-type: none"> • Los índices de emisión varían entre las instalaciones y/o los equipos, y en una cierta medida, a lo largo del tiempo • Los índices de emisión de los procesos son superiores al 3 por ciento anual • Los equipos son recargados frecuentemente • Las existencias de equipos crecen lentamente • Los equipos que contienen HFC, PFC o SF₆ han estado en uso al menos por un tiempo tan largo como el tiempo típico entre recargas para ese equipo <ul style="list-style-type: none"> ○ De 10 a 20 años para equipos eléctricos ○ De 5 a 20 años para equipos de aire acondicionado y de refrigeración 	Es más exacto donde: <ul style="list-style-type: none"> • Los índices de emisión son relativamente constantes entre los tipos definidos de equipos y/o instalaciones • Los índices de emisión de los procesos son inferiores a 3 por ciento anual • Los equipos son recargados raramente o nunca • Las existencias de equipos crecen rápidamente • Los equipos que contienen HFC, PFC o SF₆ han estado en uso por un tiempo menor que el tiempo típico entre recargas para ese equipo <ul style="list-style-type: none"> ○ De 10 a 20 años para equipos eléctricos ○ De 5 a 20 años para equipos de aire acondicionado y de refrigeración
Otras consideraciones: a largo plazo, este método refleja las emisiones reales, pero puede haber un tiempo de retardo significativo (en algunos casos de hasta 20 años o más) entre las emisiones y su detección.	Otras consideraciones: los factores de emisión deben ser verificados periódicamente para garantizar su coherencia con la realidad.

Referencias

SECCIONES 1.1 Y 1.2

- EEA (2005). "EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook – 2005", European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site see: <http://reports.eea.eu.int/EMEP/CORINAIR4/en>
- Eurostat (2005). Europroms. PRODCOM Data. The PRODCOM annual dataset *DS-008451* is available at website: <http://fd.comext.eurostat.cec.eu.int/xtweb/setupdimselection.do>
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- Milbrath, D. (2002). "Development of 3M™ Novec™ 612 Magnesium Protection Fluid as a Substitute for SF₆ Over Molten Magnesium," International Conference on SF₆ and the Environment: Emission Reduction Technologies, November 21-22, 2002, San Diego, CA.
- UN (2004). 2001 Industrial Commodity Statistics Yearbook. United Nations Statistics Division, Energy and Industry Statistics Section, Report no. ST/ESA/STAT/SER.P/41, 17 September 2004. Series P, No. 41, Sales number: E/F.03.XVII.10. Also available on CD-ROM as 'Industrial Commodity Statistics Dataset (1950-2002)'. See internet: <http://unstats.un.org/unsd/industry/publications.htm>
- USGS (2005). International Minerals Statistics and Information. U.S. Geological Survey. Available at website: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/index.html#pubs>

SECCIONES 1.3 Y 1.4

- EU Integrated Pollution Prevention and Control (2004). Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Inorganic Chemicals - Solid and Others Industry. (Draft August 2004)
- Neelis, M.L., Patel, M., Gielen, D.J. and Blok, K. (2005). Modelling CO₂ emissions from non-energy use with non-energy use emission accounting tables (NEAT) model, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 45, Issue 3, pp. 226-251.
- OECD/IEA/Eurostat (2004). Energy Statistics Manual. IEA PUBLICATIONS, 9 rue de la Fédération, 75739 PARIS Cedex 15 PRINTED IN FRANCE BY STEDI, September 2004. Available at website: http://www.iea.org/dbtw-wpd/textbase/nppdf/free/2004/statistics_manual.pdf, visited 3 February 2005.
- Patel, M.K. (1999). Statistical definitions of non-energy use. 1st NEU-CO₂ project workshop, 23-24 September 1999. IEA, Paris. Available at website: <http://www.chem.uu.nl/nws/www/nenergy/wrkshp1c.htm>, visited 3 February 2005.
- Sjardin, M. (2003). CO₂ Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, Ferroalloys and Inorganics Industry. Copernicus Institute, Utrecht, The Netherlands. June 2003.
- Voll, M. and Kleinschmit, P. (1997). 'Carbon Black' in Ullman's encyclopedia of industrial chemistry. 5th ed. on CD-ROM, Vol. A5. John Wiley and Sons; 1997.

SECCIÓN 1.5

- Schaefer, D. (2002). A Potential Error Associated with Using Chemical and Equipment Sales Data to Estimate Greenhouse Gas Emissions from Long-lived, Pressurized Equipment, Non-CO₂ Greenhouse Gases: Scientific Understanding, Control Options and Policy Aspects, Proceedings of the Third International Symposium, Maastricht, The Netherlands, 21-23 January 2002, pp. 229- 230. Millpress, Rotterdam, Netherlands, 2002.

CAPÍTULO 2

EMISIONES DE LA INDUSTRIA DE LOS MINERALES

Autores

Lisa Hanle (Estados Unidos)

Pedro Maldonado (Chile), Eiichi Onuma (Japón), Milos Tichy (República Checa) y Hendrik G. van Oss (Estados Unidos)

Autores colaboradores

Victor O. Aume (Estados Unidos), George H. Edwards (Estados Unidos) y M. Michael Miller (Estados Unidos)

Índice

2	Emisiones de la industria de los minerales.....	2.6
2.1	Introducción.....	2.6
2.2	Producción de cemento.....	2.7
2.2.1	Cuestiones metodológicas.....	2.7
2.2.1.1	Elección del método.....	2.8
2.2.1.2	Elección de los factores de emisión.....	2.13
2.2.1.3	Elección de los datos de la actividad.....	2.15
2.2.1.4	Exhaustividad.....	2.17
2.2.1.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	2.18
2.2.2	Evaluación de incertidumbre.....	2.18
2.2.2.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	2.18
2.2.2.2	Incertidumbres en los datos de la actividad.....	2.19
2.2.3	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación.....	2.20
2.2.3.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC).....	2.20
2.2.3.2	Generación de informes y documentación.....	2.21
2.3	Producción de cal.....	2.22
2.3.1	Cuestiones metodológicas.....	2.22
2.3.1.1	Elección del método.....	2.23
2.3.1.2	Elección de los factores de emisión.....	2.25
2.3.1.3	Elección de los datos de la actividad.....	2.27
2.3.1.4	Exhaustividad.....	2.28
2.3.1.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	2.28
2.3.2	Evaluación de incertidumbre.....	2.29
2.3.2.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	2.29
2.3.2.2	Incertidumbres en los datos de la actividad.....	2.29
2.3.3	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación.....	2.30
2.3.3.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC).....	2.30
2.3.3.2	Generación de informes y documentación.....	2.30
2.4	Producción de vidrio.....	2.31
2.4.1	Cuestiones metodológicas.....	2.31
2.4.1.1	Elección del método.....	2.32
2.4.1.2	Elección de los factores de emisión.....	2.33
2.4.1.3	Elección de los datos de actividad.....	2.34
2.4.1.4	Exhaustividad.....	2.35
2.4.1.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	2.35

2.4.2	Evaluación de incertidumbre	2.35
2.4.2.1	Incertidumbres del factor de emisión	2.35
2.4.2.2	Incertidumbres en los datos de la actividad	2.35
2.4.3	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	2.36
2.4.3.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	2.36
2.4.3.2	Generación de informes y documentación	2.36
2.5	Otros usos de carbonatos en los procesos	2.37
2.5.1	Cuestiones metodológicas	2.37
2.5.1.1	Elección del método	2.38
2.5.1.2	Elección de los factores de emisión	2.40
2.5.1.3	Elección de los datos de actividad	2.41
2.5.1.4	Exhaustividad	2.41
2.5.1.5	Desarrollo de una serie temporal coherente	2.43
2.5.2	Evaluación de incertidumbre	2.44
2.5.2.1	Incertidumbres del factor de emisión	2.44
2.5.2.2	Incertidumbres en los datos de la actividad	2.44
2.5.3	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	2.44
2.5.3.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	2.44
2.5.3.2	Generación de informes y documentación	2.45
Referencias	.....	2.45

Ecuaciones

Ecuación 2.1	Nivel 3: Emisiones basadas en la producción de cemento	2.8
Ecuación 2.2	Nivel 2: Emisiones basadas en los datos sobre producción de clínker	2.10
Ecuación 2.3	Nivel 3: Emisiones basadas en las entradas al horno de materias primas carbonatadas	2.12
Ecuación 2.4	Factor de emisión para el clínker	2.13
Ecuación 2.5	Factor corrector para el CKD no reciclado hacia el horno	2.14
Ecuación 2.6	Nivel 2: Emisiones basadas en los datos de producción nacional de cal, por tipos	2.24
Ecuación 2.7	Nivel 3: Emisiones basadas en las entradas de carbonatos	2.24
Ecuación 2.8	Nivel 1: factor de emisión por defecto para la producción de cal	2.25
Ecuación 2.9	Nivel 2: Factores de emisión para la producción de cal	2.26
Ecuación 2.10	Nivel 1: Emisiones basadas en la producción de vidrio	2.32
Ecuación 2.11	Nivel 2: Emisiones basadas en el proceso de fabricación del vidrio	2.32
Ecuación 2.12	Nivel 3: Emisiones basadas en las entradas de carbonatos	2.32
Ecuación 2.13	Nivel 1: factor de emisión por defecto para la producción de vidrio	2.34
Ecuación 2.14	Nivel 1: Emisiones basadas en la masa de los carbonatos consumidos	2.38
Ecuación 2.15	Nivel 2: Método para otros usos de los carbonatos en los procesos	2.39
Ecuación 2.16	Nivel 3: Método de las entradas de carbonato para otros usos de los carbonatos en los procesos	2.39

Figuras

Figura 2.1	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de cemento	2.10
Figura 2.2	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de cal.....	2.23
Figura 2.3	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de vidrio	2.33
Figura 2.4	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de otros usos de los carbonatos en los procesos	2.40

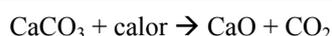
Cuadros

Cuadro 2.1	Fórmulas, pesos moleculares de fórmula, y contenido de dióxido de carbono de las especies comunes de carbonatos	2.7
Cuadro 2.2	Fracción de clínker en las «recetas» de cementos compuestos y en las mezclas generales	2.16
Cuadro 2.3	Valores de incertidumbre por defecto para la producción de cemento	2.19
Cuadro 2.4	Parámetros básicos para el cálculo de los factores de emisión en la producción de cal	2.26
Cuadro 2.5	Valores de incertidumbre por defecto para la estimación de emisiones de CO ₂ de la producción de cal	2.29
Cuadro 2.6	Factores de emisión y proporciones de cullet por defecto para los diferentes tipos de vidrio ..	2.34
Cuadro 2.7	Usos de los carbonatos que generan y que no generan emisiones	2.42

2 EMISIONES DE LA INDUSTRIA DE LOS MINERALES

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se delinearán las metodologías para estimar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con los procesos que resultan del uso de materias primas carbonatadas en la producción y el uso de una variedad de productos minerales industriales. Existen dos grandes vías para la liberación de CO₂ a partir de los carbonatos: la calcinación y la liberación de CO₂ inducida por ácidos. El principal proceso que conduce a la liberación de CO₂ es la calcinación de compuestos carbonatados, durante la cual se forma óxido metálico mediante la aplicación de calor. Una reacción de calcinación típica, ejemplificada aquí para el mineral de calcita o carbonato de calcio, sería la siguiente:



La liberación de CO₂ inducida por ácido, por ejemplo, a través de una ecuación de la forma:



Esto ocurre en diversas industrias, pero es generalmente el resultado de la presencia de pequeñas cantidades de carbonatos, en calidad de impurezas, en un proceso de acidificación para concentrar un material no carbonatado. Por ejemplo, en el tratamiento de los minerales de fosfato con ácido sulfúrico para producir ácido fosfórico, el concentrado de fosfato que ha de ser acidificado puede contener un pequeño porcentaje de minerales carbonatados. En general, la cantidad de CO₂ liberada por acidificación de estas impurezas carbonatadas es pequeña.

En consecuencia, en este capítulo la atención se centra en las emisiones que resultan de la calcinación de materiales carbonatados. Aunque el proceso principal a través del cual se liberan emisiones por calcinación es similar entre las diversas categorías de fuente de la industria de los minerales, el énfasis se pone en tres de ellas pues sus contribuciones a las emisiones mundiales son relativamente importantes. Estas categorías de fuente son: la producción de cemento, de cal y de vidrio. Además de estas categorías, en este capítulo se consideran las emisiones provenientes del consumo de carbonatos en una variedad de otras industrias de los minerales, incluidas las cerámicas, los usos de la ceniza de sosa y el consumo de carbonatos en la producción de magnesia no metalúrgica.

La piedra caliza y otros materiales carbonatados se consumen también en muchas otras industrias que no se abordan en este capítulo. Son ejemplos los carbonatos que se utilizan como fundentes¹ o como agentes de escorificación² en la fundición y refinación (p. ej., la producción de hierro y acero y la de metales básicos como el cobre), y como entradas en la industria química (p. ej., los fertilizantes). Los métodos delineados en este capítulo para estimar las emisiones provenientes del uso de carbonatos son aplicables también a estas otras industrias. Es una *buena práctica* atribuir las emisiones provenientes del uso de la piedra caliza, la dolomita y otros carbonatos, a la categoría de fuente industrial en las cuales son emitidas (p. ej., la producción de hierro y acero).

Tal como se señala a lo largo de todo el Volumen 3, sobre Procesos industriales y uso de productos (IPPU, del inglés, *Industrial Processes and Products Use*), en las metodologías para la estimación de las emisiones que se explican a continuación, se consideran sólo las emisiones relacionadas con procesos y no las emisiones relacionadas con la energía. Los compiladores del inventario deben garantizar que las emisiones de estas industrias que estén relacionadas con la energía, se contabilicen en el Sector Energía y que no haya cómputos dobles de emisiones entre los Sectores Energía e IPPU. Por ejemplo, en el cálculo de las emisiones de CO₂ provenientes del consumo de combustible para la fabricación del cemento debe considerarse la combustión, tanto de los combustibles fósiles como de los combustibles de desecho (neumáticos, óleos de desecho, pinturas, etc.).

¹ Los fundentes (o flujos) son materias primas tales como la piedra caliza, la dolomita, la cal y la arena de sílice, que se usan para reducir el calor u otros requerimientos energéticos necesarios del procesamiento térmico de los minerales (tal como la fundición de metales). Los fundentes pueden cumplir una doble función, pues actúan a la vez como agentes de escorificación.

² La escoria (o clinker) es un silicato fundido residual formado intencionalmente durante la fundición de minerales metálicos o en hornos posteriores (p. ej., el acero) mediante la incorporación de agentes de escorificación (generalmente cal, piedra caliza y/o dolomita). Esta escoria contiene la mayoría de las impurezas no volátiles extraídas de los minerales, así como los componentes derivados de cualquiera de los fundentes agregados al proceso de fundición.

Sin embargo, estas emisiones relacionadas con la combustión deben incluirse en las emisiones relacionadas con la energía y no con el IPPU, el cual deberá incluir sólo las emisiones procedentes de la calcinación.

Aunque el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) pueden ser emitidos por algunas categorías de fuente de la industria de los minerales, dados los conocimientos científicos actuales, se supone que estas emisiones son insignificantes y por lo tanto no se abordan en este capítulo. Las emisiones de CO₂ pueden resultar de actividades adicionales relacionadas con los minerales que no están identificadas aquí. Pero deben incluirse en el inventario allí donde se conozcan y puedan estimarse.

Las categorías de fuente de este capítulo son tratadas con un enfoque común respecto de los niveles metodológicos. Los Niveles 1 y 2 se basan en estimaciones de la cantidad de materias primas consumidas o de productos fabricados, junto con factores de emisión que representan la cantidad de CO₂ emitido por unidad de masa. El Nivel 3 describe los cálculos directos basados en los procesos químicos específicos aplicados a las materias primas en cada planta. Si se usan datos de materias primas específicos por sitio, es vital que se justifiquen todas las fuentes de carbonatos en las materias primas y en los combustibles (no sólo las de la piedra caliza). Los cálculos básicos de las emisiones son similares para todas las industrias que queman carbonatos. Se basan en pesos moleculares de fórmula y en factores de CO₂ comunes, los cuales, para mayor facilidad, se presentan en el siguiente Cuadro 2.1.

CUADRO 2.1 FÓRMULAS, PESOS MOLECULARES DE FÓRMULA, Y CONTENIDO DE DIÓXIDO DE CARBONO DE LAS ESPECIES COMUNES DE CARBONATOS*			
Carbonato	Nombre del (o los) minerales	Peso molecular de fórmula	Factor de emisión (toneladas de CO₂/toneladas de carbonato)**
CaCO ₃	Calcita*** o aragonita	100,0869	0,43971
MgCO ₃	Magnesita	84,3139	0,52197
CaMg(CO ₃) ₂	Dolomita***	184,4008	0,47732
FeCO ₃	Siderita	115,8539	0,37987
Ca(Fe,Mg,Mn)(CO ₃) ₂	Ankerita (o espató)****	185,0225–215,616 0	0,40822–0,47572
MnCO ₃	Rhodochrosita	114,9470	0,38286
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sodio o ceniza de sosa	106,0685	0,41492

Fuente: *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (2004).

* Los resultados finales (es decir, la estimación de las emisiones) obtenidos con estos datos deben redondearse a no más de dos cifras significativas

** Fracción de CO₂ emitida, suponiendo una calcinación al 100 por ciento; p. ej., 1 tonelada de calcita totalmente calcinada rendiría 0,43971 toneladas de CO₂.

*** La calcita es el mineral principal de la piedra caliza. Los términos tales como piedra caliza con fuerte proporción de magnesio o piedra caliza dolomítica se refieren a una sustitución relativamente pequeña del Mg por el Ca en la fórmula general CaCO₃, comúnmente presentada para la piedra caliza.

**** Para el intervalo de los pesos moleculares de fórmula presentados para la ankerita (espatos), se supone que el Fe, Mg y Mn están presentes en proporciones de al menos un 1,0 por ciento

2.2 PRODUCCIÓN DE CEMENTO

2.2.1 Cuestiones metodológicas

En la fabricación del cemento, el CO₂ se genera durante la producción de clínker, un producto intermedio constituido de nódulos, que luego se somete a una molturación fina conjuntamente con una pequeña proporción de sulfato de calcio [yeso (CaSO₄·2H₂O) o anhidruro (CaSO₄)], para formar el cemento hidráulico (generalmente, el cemento portland). Durante la producción del clínker, se calienta o calcina la piedra caliza, compuesta esencialmente de carbonato de calcio (CaCO₃), para producir cal (CaO) y CO₂ como productos derivados. El CaO reacciona entonces con la sílice (SiO₂), la alúmina (Al₂O₃), y el óxido de hierro (Fe₂O₃) presentes en las materias primas, para formar minerales de clínker (principalmente silicatos de calcio). La proporción de otros carbonatos diferentes del CaCO₃ en las materias primas es en general muy pequeña. Los demás carbonatos, si aparecen, existen esencialmente como impurezas en la materia prima de la piedra caliza primaria. Es deseable que haya una pequeña cantidad de MgO (generalmente, entre 1 por ciento y 2 por ciento) en el proceso de fabricación del clínker, pues actúa como fundente. Pero una cantidad mayor puede generar problemas con el cemento (van Oss y Padovani, 2002). El cemento puede fabricarse completamente (por molturación) a partir de clínker importado, en cuyo caso la planta de producción de cemento puede ser considerada libre de toda emisión de CO₂ relacionada con el proceso de

fabricación. Como se explica en la Sección 2.2.1.2, durante la fabricación de clínker puede generarse polvo de horno de cemento (CKD, del inglés *Cement Kiln Dust*). En la estimación de las emisiones deben tomarse en cuenta las emisiones asociadas al CKD.

No hay emisiones adicionales asociadas con la producción de cemento de albañilería. En el caso de que se produzca cemento de albañilería por adición de cal al cemento portland (o a su clínker), las emisiones asociadas a la cal deben haberse tomado ya en cuenta bajo el rubro producción de cal. No se producen emisiones adicionales cuando, para producir cemento de albañilería, se agregue piedra caliza molida al cemento portland o a su clínker.

2.2.1.1 Elección del método

En el árbol de decisión de la Figura 2.1 se describe la *buena práctica* de escoger el método más apropiado según las circunstancias nacionales. En el método de Nivel 1, las emisiones se basan en las estimaciones de producción de clínker inferidas de los datos sobre la producción de cemento, y se corrigen en función de las exportaciones e importaciones de clínker. La estimación directa de las emisiones a partir de la producción de cemento (esto es, aplicando directamente un factor de emisión a la producción de cemento, sin estimar primero la producción de clínker) no se considera una *buena práctica* pues no da cuenta de las importaciones y exportaciones de clínker.

En el Nivel 2, las emisiones se estiman directamente de los datos sobre la producción de clínker (en vez de estimarse de la producción de clínker inferida de la producción de cemento) y de un factor de emisión, ya sea nacional o por defecto. El método de Nivel 3 consiste en un cálculo basado en los pesos y en la composición de todas las entradas de carbonatos que se aplica a todas las fuentes de materias primas y de combustibles, al (o a los) factores de emisión para el (o los) carbonatos y a la fracción de calcinación alcanzada. En el método de Nivel 3 se cuenta con los datos específicos de la planta. Si el compilador del inventario considera que los datos del nivel de la planta son poco fiables o muy inciertos, entonces la *buena práctica* es usar el Nivel 2.

En el Nivel 2 y en el Nivel 3 se debe incluir una corrección para el CKD. En el Nivel 2 se incluye una corrección aditiva para las emisiones asociadas con el CKD que no es reciclado hacia el horno. En el Nivel 3 también debe justificarse el CKD. Pero a diferencia del método de Nivel 2, al usar el Nivel 3, las emisiones atribuidas al CKD no calcinado ni reciclado hacia el horno deben restarse de la estimación del total de emisiones.

En el caso de que en la planta se haya instalado una tecnología de captura del CO₂, es una *buena práctica* restar el CO₂ capturado de los cálculos de emisiones efectuados mediante los niveles más elevados. Se supone por defecto que no hay captura ni almacenamiento (CCS) de CO₂. Para toda metodología que tome en cuenta la captura de CO₂, debe considerarse que las emisiones de CO₂ capturadas en el proceso pueden estar relacionadas tanto con la combustión como con el proceso mismo. En los casos en los que las emisiones debidas a la combustión o al proceso deban declararse separadamente, p. ej., para el caso de la producción de cemento, los compiladores del inventario deben garantizar que las mismas cantidades de CO₂ no sean contabilizadas por partida doble. En estos casos, la cantidad total de CO₂ capturado debe declararse preferentemente en las correspondientes categorías de fuente de Energía e IPPU, en proporción con las cantidades de CO₂ generado en cada categoría de fuente. Para más información sobre la captura y almacenamiento de CO₂, refiérase al Volumen 3, Sección 1.2.2 y para mayores detalles sobre captura y almacenamiento, al Volumen 2, Sección 2.3.4.

MÉTODO DE NIVEL 1: ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CLÍNKER A TRAVÉS DE LOS DATOS DE PRODUCCIÓN DE CEMENTO

Tal como se ha señalado más arriba, el cálculo de las emisiones de CO₂ realizado directamente a partir de la producción de cemento (p. ej., mediante el uso de un factor de emisión fijo basado en el cemento) no es coherente con las *buenas prácticas*. En contrapartida, ante la ausencia de datos sobre las entradas de carbonatos o sobre la producción nacional de clínker, pueden usarse los datos de producción de cemento para estimar la producción de clínker mediante la contabilización de las cantidades y tipos de cemento producidos con sus respectivos contenidos de clínker. Estos mismos datos pueden usarse para aplicar una corrección que dé cuenta de las importaciones y exportaciones de clínker. La contabilización de las importaciones y exportaciones de clínker constituye un factor importante en la estimación de las emisiones provenientes de esta fuente. Las emisiones resultantes de la producción de clínker importado no deben incluirse en las estimaciones de emisiones nacionales pues estas emisiones ya han ocurrido y se han contabilizado en otro país. De manera similar, las emisiones resultantes del clínker que es finalmente exportado, deben analizarse y atribuirse como estimaciones nacionales del país donde se produce el clínker. Se aplica entonces un factor de emisión para el clínker y se calculan las emisiones de CO₂ según la Ecuación 2.1.

ECUACIÓN 2.1

NIVEL 3: EMISIONES BASADAS EN LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO

$$EmisionesCO_2 = \left[\sum_i (M_{ci} \cdot C_{cli}) - Im + Ex \right] \cdot EF_{clc}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cemento, toneladas

M_{ci} = peso (masa) de cemento producido³ de tipo i , toneladas

C_{cli} = fracción de clínker del cemento de tipo i , fracción

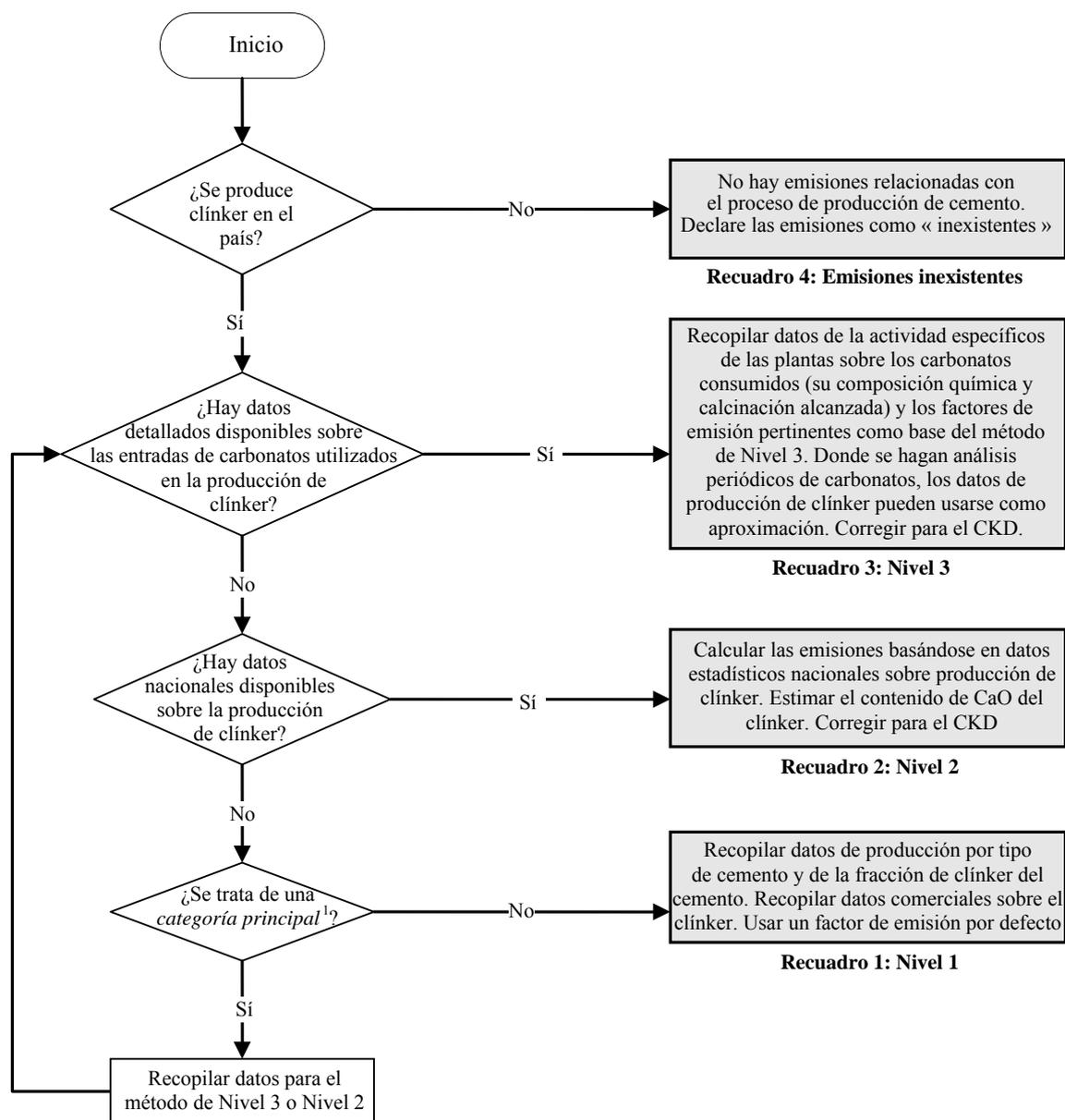
Im = importaciones para el consumo de clínker, toneladas

Ex = exportaciones de clínker, toneladas

EF_{clc} = factor de emisión del clínker en el cemento en particular, toneladas de CO_2 /toneladas de clínker
 El factor de emisión por defecto del clínker (EF_{clc}) está corregido para el CKD.

³ En algunos compendios estadísticos, se entiende que la producción de cemento significa la producción media más las exportaciones de clínker. Si este fuera el caso, es una *buena práctica* sustraer las exportaciones de clínker del factor M_{ci} en la Ecuación 2.1.

Figura 2.1 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ procedentes de la producción de cemento**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

MÉTODO DE NIVEL 2: UTILIZACIÓN DE LOS DATOS SOBRE PRODUCCIÓN DE CLÍNKER

Si no se dispone de datos detallados y completos (incluidos los pesos y la composición) sobre el (o los) carbonatos consumidos en la producción de clínker (Nivel 3), o bien, si por otro lado, resulta impracticable un cálculo riguroso de Nivel 3, es una *buena práctica* utilizar datos globales sobre la producción de clínker de nivel de planta o de nivel nacional y datos sobre el contenido de CaO del clínker, expresados como un factor de emisión en la Ecuación 2.2, presentada a continuación.

ECUACIÓN 2.2

NIVEL 2: EMISIONES BASADAS EN LOS DATOS SOBRE PRODUCCIÓN DE CLÍNKER

$$Emisiones\ de\ CO_2 = M_{cl} \cdot EF_{cl} \cdot CF_{ckd}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de cemento, toneladas

M_{cl} = peso (masa) de la cal producida, toneladas

EF_{cl} = factor de emisión para el clínker, toneladas de CO₂/toneladas de clínker (véase a continuación el análisis de la Sección 2.2.1.2, Elección del factor de emisión, para los Niveles 1 y 2). Este factor de emisión del clínker (EF_{cl}) no está corregido para el CKD.

CF_{ckd} = factor corrector de las emisiones para el CKD, sin dimensión (véase Ecuación 2.5)

El método de Nivel 2 se basa en las siguientes hipótesis en relación con la industria del cemento y con la producción de clínker:

1. La mayor parte del cemento hidráulico es cemento portland o un cemento similar que requiere clínker de cemento portland;
2. En la composición del clínker, la proporción de CaO varía dentro de un intervalo muy limitado y el contenido de MgO se mantiene muy bajo;
3. En general, las plantas son capaces de controlar el contenido de CaO en las entradas de materias primas y de clínker dentro de un intervalo estrecho de tolerancia;
4. Aun cuando la salida de clínker se calcula en vez de medirla directamente en la planta, a la hora de los controles de auditoría ambos métodos de determinación arrojan resultados concordantes;
5. Para una planta en particular, el contenido de CaO del clínker tiende a no variar significativamente a través de los años;
6. Para la mayoría de las plantas, la fuente principal de CaO es el CaCO₃ y toda otra fuente de CaO cuyo origen no sean los carbonatos, está debidamente cuantificada, por lo menos al nivel de la planta (véase más abajo, Sección 2.2.1.2);
7. Para las entradas de carbonatos usados en la fabricación de clínker se alcanza un factor de calcinación del 100 por ciento (o muy cercano), incluidos (normalmente en menor escala) los materiales perdidos para el sistema como CKD no reciclado; y
8. Los colectores de polvo de las plantas capturan casi la totalidad del CKD, aunque éste no necesariamente se recicle hacia el horno.

MÉTODO DE NIVEL 3: UTILIZACIÓN DE LOS DATOS SOBRE ENTRADAS DE CARBONATOS

El Nivel 3 se basa en la recolección de datos desagregados respecto de los tipos (composiciones) y las cantidades de carbonato(s) consumidos para producir clínker, así como en su (o sus) factores de emisión respectivos. Las emisiones se calculan luego mediante la Ecuación 2.3. El método de Nivel 3 incluye un ajuste para restar todo carbonato no calcinado contenido de el CKD que no se recicle hacia el horno. Si el CKD se calcina totalmente, o bien si se recicla hacia el horno, este factor corrector para el CKD será nulo. El Nivel 3 se considera aún una *buena práctica* en aquellos casos en que los compiladores del inventario no tengan acceso a los datos sobre el CKD no calcinado. Sin embargo, si se excluye el CKD no calcinado puede producirse una ligera sobreestimación de las emisiones.

La piedra caliza y los esquistos (materias primas) pueden contener también una cierta proporción de carbono orgánico (kerógeno) y otras materias primas (p. ej., las cenizas volantes) pueden contener residuos de carbono, lo cual rendirá CO₂ suplementario durante la quema. Generalmente, estas emisiones no se contabilizan en el Sector Energía, pero si ocurren ampliamente, los compiladores del inventario deben hacer un esfuerzo para determinar si están o no incluidas en el Sector Energía. Sin embargo, en la actualidad existen muy pocos datos sobre los contenidos de kerógeno o de carbono en las materias primas no combustibles destinadas a los procesos minerales como para determinar, entre los valores que se presentan en este capítulo, un valor por defecto que sea significativo respecto del contenido promedio de kerógeno en las materias primas. Para los cálculos basados en las materias primas al nivel de plantas (Nivel 3), en los cuales el contenido de kerógeno es elevado (es decir, que contribuye en más de un 5 por ciento al calor total), es una *buena práctica* incluir el aporte del kerógeno a las emisiones.

El método de Nivel 3 es sin duda adecuado sólo en los casos de plantas individuales o de países que tengan acceso a datos detallados sobre las materias primas carbonatadas para cada planta. Los datos de emisiones

recolectados directamente de las plantas deberán ser luego sintetizados con el fin de generar informes sobre las estimaciones de emisiones a la escala nacional. Se reconoce que, para algunas plantas, los cálculos frecuentes de emisiones basados en un análisis directo de los carbonatos pueden resultar fastidiosos. En la medida de que los análisis químicos detallados de las entradas de carbonatos se realicen con una frecuencia suficiente como para establecer una buena correlación entre los carbonatos consumidos al nivel de la planta y la producción de clínker resultante, la salida de clínker podrá considerarse entonces representativa de los carbonatos en los cálculos de emisiones para los períodos intermedios. Es decir, una planta puede derivar un factor de emisión condicionado rigurosamente para el clínker de esa planta, basándose en una calibración periódica de las entradas de carbonato.

ECUACIÓN 2.3

NIVEL 3: EMISIONES BASADAS EN LAS ENTRADAS AL HORNO DE MATERIAS PRIMAS CARBONATADAS

$$Emisiones\ de\ CO_2 = \underbrace{\sum_i (EF_i \cdot M_i \cdot F_i)}_{\text{Emisiones de los carbonatos}} - \underbrace{M_d \cdot C_d \cdot (1 - F_d) \cdot EF_d}_{\text{Emisiones de CKD no calcinado ni reciclado hacia el horno}} + \underbrace{\sum_k (M_k \cdot X_k \cdot EF_k)}_{\text{Emisiones de materiales no combustibles que contienen carbono}}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de cemento, toneladas

EF_i = factor de emisión para el carbonato en particular *i*, toneladas de CO₂/ toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

M_i = peso o masa del carbonato *i* consumido en el horno, toneladas

F_i = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato *i*, fracción ^a

M_d = peso o masa del CKD no reciclado hacia el horno (= CKD «perdido»), toneladas

C_d = fracción del peso del carbonato original en el CKD no reciclado hacia el horno, fracción ^b

F_d = fracción de calcinación alcanzada para el CKD no reciclado hacia el horno, fracción ^a

EF_d = factor de emisión para el carbonato no calcinado contenido de el CKD que no es reciclado hacia el horno, toneladas de CO₂/toneladas de carbonato ^b

M_k = peso o masa de la materia prima orgánica *k*, u otra materia prima no combustible que contiene carbono, toneladas ^c

X_k = fracción del total de materia orgánica u otro carbono en la materia no combustible específica *k*, fracción ^c

EF_k = factor de emisión para la materia prima no combustible *k*, que contiene kerógeno (u otro carbono), toneladas de CO₂/toneladas de carbonato ^c

Notas sobre los valores por defecto para la Ecuación 2.3:

- a: Fracción de calcinación: En ausencia de datos reales, puede suponerse que a las temperaturas y los tiempos de permanencia en el horno alcanzados en los hornos de altas temperaturas para el cemento (clínker), el grado de calcinación alcanzado para todos los materiales incorporados al clínker, es de 100 por ciento (es decir, F_i = 1,00) o muy cercano a este valor. Para el CKD, es más probable un valor de F_d < 1,00, pero los datos pueden presentar una gran variabilidad y una fiabilidad relativamente baja. En ausencia de datos fiables para el CKD, la hipótesis de un valor de F_d = 1,00 significará una corrección para el CKD igual a cero.
- b: Debido a que el carbonato de calcio es el carbonato dominante por lejos entre las materias primas, puede suponerse que totaliza el 100 por ciento del carbonato restante en el CKD que no se recicla hacia el horno. Es, por lo tanto, aceptable como *buena práctica*, que se asigne a C_d un valor igual a la proporción de carbonato de calcio existente en la materia prima que se introduce en el horno. Es igualmente aceptable que para EF_d se utilice el factor de emisión del carbonato de calcio.
- c: Las emisiones de CO₂ provenientes del carbono no relacionado con los carbonatos (p. ej., el carbono del kerógeno, el carbono de las cenizas volantes) presente en las materias primas no combustibles,

pueden omitirse (defínase $M_k \cdot X_k \cdot EF_k = 0$) si la contribución de calor del kerógeno u otro carbono es < 5 por ciento del calor total (de los combustibles).

2.2.1.2 Elección de los factores de emisión

MÉTODO DE NIVEL 1

En el Nivel 1, es una *buena práctica* utilizar el valor por defecto de 65 por ciento para el contenido de CaO del clínker, de suponer que el 100 por ciento del CaO proviene del material carbonato de calcio y de incorporar un factor corrector del 2 por ciento para el CKD (para más información sobre el CKD, refiérase al método de Nivel 2 discutido más abajo)

Para la composición por defecto del CaO, 1 tonelada de clínker contiene 0,65 toneladas de CaO provenientes del CaCO_3 . Este carbonato contiene 56,03 por ciento de CaO y 43,97 por ciento de CO_2 por peso (Cuadro 2.1) La cantidad (X) de CaCO_3 necesaria para rendir 0,65 toneladas de CaO es: $X = 0,65/0,5603 = 1,1601$ toneladas de CaCO_3 (sin redondear). La cantidad de CO_2 liberada por calcinación de este $\text{CaCO}_3 = 1,1601 \cdot 0,4397 = 0,5101$ toneladas de CO_2 (sin redondear). Si se supone una corrección aditiva del 2 por ciento para dar cuenta del CKD, el factor de emisión por defecto (EF_{clc}) para el clínker es, una vez redondeado:

<p>ECUACIÓN 2.4 FACTOR DE EMISIÓN PARA EL CLÍNKER</p> $EF_{clc} = 0,51 \cdot 1,02 \text{ (corrección CKD)} = 0,52 \text{ toneladas de } \text{CO}_2 / \text{toneladas de clínker}$

Según el Nivel 1, en el valor por defecto EF_{clc} se incorpora la corrección para el CKD. No debe confundirse con el factor de emisión EF_{cl} del Nivel 2, que no da cuenta del CKD. El factor EF_{cl} debe multiplicarse por un factor corrector, CF_{ckd} (véase la Ecuación 2.5) para generar el factor combinado EF para el clínker y el CKD.

MÉTODO DE NIVEL 2

Factor de emisión para el clínker (EF_{cl})

En el método de Nivel 2, si se dispone de suficientes datos específicos del país sobre el contenido de CaO del clínker y sobre las entradas de fuentes no carbonatadas de CaO, es una *buena práctica* estimar un factor de emisión de CO_2 del clínker específico para ese país. Tal como se señala más arriba, para derivar un factor de emisión para el clínker se requiere conocer el contenido de CaO del clínker, así como la fracción de CaO que se haya derivado de una fuente de carbonato (generalmente el CaCO_3). El contenido de CaO del clínker suele situarse en un intervalo que va del 60 por ciento al 70 por ciento. En una planta determinada, el contenido de CaO permanecerá estable dentro de un 1 por ciento a un 2 por ciento. Para determinar el valor básico por defecto del factor de emisión, tal como se recomienda según el Nivel 1, se supone que el clínker contiene un 65 por ciento de CaO, que éste proviene en un 100 por ciento del CaCO_3 y que se alcanza un 100 por ciento de calcinación en el horno.

Para el factor de emisión de base de 0,51 (es decir, sin corrección para el CKD) en la Ecuación 2.4, se supone un contenido de un 65 por ciento de CaO en el clínker. Un cálculo similar daría los factores de emisión para los diferentes contenidos en CaO, si éstos fueren conocidos. Por ejemplo, para un clínker con un 60 por ciento de CaO enteramente derivado de CaCO_3 , el factor EF_{cl} (sin incluir la corrección para el CKD) es 0,47, y para un 67 por ciento de CaO, el EF_{cl} es 0,53.

Si se sabe que una planta obtiene una fracción significativa de CaO de una fuente no carbonatada (tal como la escoria de acero o las cenizas volantes), entonces debe restarse primero este componente de CaO. Por ejemplo, si un 4 por ciento del CaO de un clínker compuesto de un 65 por ciento de CaO proviene de escorias, entonces el CaO proveniente de carbonatos es de un 61 por ciento y en este caso, el cálculo da un factor EF_{cl} de 0,48.

El factor de emisión por defecto no incluye una corrección para el MgO. Por cada 1 por ciento de MgO derivado de carbonatos, al factor de emisión se agrega un factor de 0,011 toneladas de CO_2 /toneladas de clínker adicional (es decir, $EF_{cl} = 0,510 + 0,011 = 0,52$ toneladas de CO_2 /toneladas de clínker). Debido a que el MgO puede también provenir de una fuente no carbonatada y debido a que el MgO se mantiene deliberadamente bajo en el cemento portland, es probable que la verdadera cantidad de MgO proveniente de carbonatos sea muy pequeña. Dado que la hipótesis de un 100 por ciento de fuente carbonatada para el CaO resulta ya en una sobreestimación de las emisiones (es muy probable que haya por lo menos algún aporte de CaO de fuentes no carbonatadas) y dado también el hecho de que algo del MgO puede provenir de una fuente no carbonatada, no es necesaria una corrección para el MgO para el cálculo de Nivel 2. Para mayor información sobre las incertidumbres asociadas a estas hipótesis, por favor refiérase al Cuadro 2.3.

Factor corrector de emisiones para el polvo de horno de cemento (CF_{ckd})

El polvo puede generarse en varios puntos de la línea del horno de altas temperaturas utilizado para fabricar el clínker. La composición de este polvo puede variar según el lugar de generación, pero todo polvo puede incluirse bajo la denominación «polvo de horno de cemento» (CKD, del inglés, *Cement Kiln Dust*). El CKD incluye partículas derivadas de las materias primas y el componente carbonatado original del polvo puede ser calcinado de manera incompleta. Se puede capturar eficientemente el CKD por medio de tecnologías de control de polvos y reciclarlo luego hacia el horno (es la práctica preferida), o bien retornarlo directamente al horno en el aire de combustión o eliminarlo (luego de la captura). La proporción en la cual se puede reciclar el CKD hacia el horno depende de que esto genere o no problemas de calidad con el clínker (p. ej., un contenido alcalino excesivo) o con el cemento producido ulteriormente. Todo CKD no reciclado hacia el horno se considera «perdido» para el proceso y las emisiones asociadas con él no serán tomadas en cuenta para el clínker. En la medida en la que el CKD perdido representa materias primas carbonatadas calcinadas, en los cálculos de Nivel 1 y de Nivel 2, las emisiones de esta materias primas calcinadas representan una cantidad que se suma a las emisiones del clínker, y en el cálculo del Nivel 3, una cantidad que se resta.

Dado que los datos sobre la cantidad de CKD producido pueden ser escasos (salvo quizás en los casos de informes al nivel de plantas), puede considerarse una *buena práctica* estimar las emisiones del CKD perdido sobre la base de un valor por defecto. La cantidad de CO₂ proveniente de CKD perdido puede variar, pero dentro de un intervalo típico cercano al 1,5 por ciento (CO₂ adicional respecto del calculado para el clínker) para una planta moderna y hasta cerca de un 20 por ciento para una planta que pierde gran cantidad de CKD muy calcinado (van Oss, 2005). En caso de ausencia de datos, el factor corrector por defecto para el CKD (CF_{ckd}) es de 1,02 (es decir, se añade un 2 por ciento al CO₂ calculado para el clínker). Si se estima que no hay pérdidas de CKD calcinado en el sistema, el factor corrector para el CKD será de 1,00 (van Oss, 2005). Además del CKD, el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, del inglés, *World Business Council for Sustainable Development*) aborda por separado las emisiones provenientes del polvo desviado (que se calcina totalmente). Si hay datos disponibles, los países pueden referirse al Protocolo del WBCSD para estimar estas emisiones (WBCSD, 2005).

Si hay datos disponibles puede calcularse, mediante la Ecuación 2.5, el factor corrector (CF_{ckd} de la Ecuación 2.2) para las emisiones del CO₂ «perdido».

El factor corrector para el CKD (CF_{ckd}), puede derivarse para su uso en la Ecuación 2.2, de la manera siguiente:

ECUACIÓN 2.5
FACTOR CORRECTOR PARA EL CKD NO RECICLADO HACIA EL HORNO

$$CF_{ckd} = 1 + (M_d / M_{cl}) \cdot C_d \cdot F_d \cdot (EF_c / EF_{cl})$$

Donde:

CF_{ckd} = factor corrector de las emisiones para el CKD, sin dimensión

M_d = peso del CKD no reciclado hacia el horno, toneladas^a

M_{cl} = peso del clínker producido, toneladas

C_d = fracción de carbonato original en el CKD (es decir, antes de la calcinación), fracción^b

F_d = fracción de la calcinación del carbonato original en el CKD, fracción^b

EF_c = factor de emisión para el carbonato (Cuadro 2.1), toneladas de CO₂/toneladas de carbonato

EF_{cl} = factor de emisión del clínker sin corrección para el CKD (es decir, 0,51 toneladas de CO₂/toneladas de clínker), toneladas de CO₂/toneladas de clínker

Notas:

- a: Se supone que el 100 por ciento del CKD es capturado primero. Si algo de CKD es venteado en la atmósfera, debe hacerse una estimación de esta cantidad e incluirse en el M_d .
- b: Es aceptable suponer que el carbonato inicial esté compuesto en su totalidad de CaCO₃ y que la proporción de carbonato original en el CKD sea esencialmente la misma que la del suministro de mezcla sin tratar hacia el horno.

Por ejemplo, para $M_d/M_{cl} = 0,2$, $C_d = 0,85$, $F_d = 0,5$, carbonato original puro CaCO₃ (de donde, $EF_c = 0,4397$ toneladas de CO₂/toneladas de carbonato), y EF_{cl} = valor por defecto de 0,51 toneladas de CO₂/toneladas de clínker, resulta un $CF_{ckd} = 1,073$ (sin redondear) – lo que significa agregar cerca de un 7 por ciento al CO₂ calculado para el clínker solo.

MÉTODO DE NIVEL 3

Los factores de emisión del Nivel 3 se basan en el contenido efectivo en CO₂ de los carbonatos presentes (véase Ecuación 2.3 y Cuadro 2.1). El método del Nivel 3 requiere una contabilización completa de los carbonatos (especies y fuentes).

2.2.1.3 Elección de los datos de la actividad

MÉTODO DE NIVEL 1

En el Nivel 1, para estimar la producción de clínker deben recolectarse datos a la escala nacional (o donde sea posible, al nivel de plantas) sobre los tipos de cemento producidos y la fracción de clínker de cada cemento. La mayoría de los cementos hidráulicos que se producen en el mundo son cementos portland o cementos mezclados (compuestos) basados en el cemento portland (p. ej., cemento portland [o clínker] más aditivos puzolánicos o cementosos), o también cementos de albañilería (cemento portland más aditivos que aumentan la plasticidad, tales como la piedra caliza molida). Si la producción de cemento no puede analizarse separadamente por tipo y si se sospecha que se producen, además del cemento portland, cantidades significativas de cementos compuestos y/o de albañilería, es aceptable suponer, dentro de las *buenas prácticas*, que la fracción global de clínker es de un 75 por ciento. Si se sabe que la producción de cemento corresponde esencialmente a la del cemento portland, entonces una *buen práctica* es utilizar un valor por defecto de 95 por ciento de clínker. Por desgracia, aun cuando se conozcan los tipos de cemento producidos en el país, puede haber una gran variabilidad respecto de la fracción de clínker incorporado en los tipos de cementos compuestos o de albañilería. En el Cuadro 2.2 se presenta una ilustración del intervalo de variación de las fracciones de clínker para varios tipos de cemento. Para mayor información, véase DIN (1994) y ASTM (2004a, 2004b). Cada país debe documentar claramente todas las hipótesis planteadas sobre la composición del cemento y la fracción de clínker utilizada para estimar las emisiones.

El Nivel 1 requiere también una corrección para las importaciones y las exportaciones de clínker. Por lo general, los datos sobre la cantidad de clínker importado y exportado en el país están disponibles en las oficinas nacionales de aduanas, en las Naciones Unidas, en las asociaciones nacionales del cemento o en las asociaciones comerciales y/o en los departamentos de comercio. Los códigos arancelarios típicos vigentes en el comercio del clínker son el 661.21 (SITC) y el 2523.10.00 (HTS). Es importante distinguir los datos comerciales sobre el clínker en sí mismo de los datos sobre la categoría combinada de cemento hidráulico y de clínker [códigos 661.2 (SITC) y 25.23.0000 (HTS)], y de los datos sobre importaciones de cemento: [códigos 661.22 – 661.29 (SITC) y 2523.21 – 2523.90 (HTS)].

CUADRO 2.2				
FRACCIÓN DE CLÍNKER EN LAS «RECETAS» DE CEMENTOS COMPUESTOS Y EN LAS MEZCLAS GENERALES				
(BASADO EN LAS NORMAS ESTADOUNIDENSES <i>ASTM C-150</i> Y <i>C-595</i>;				
LOS DATOS DE LOS ESTADOS UNIDOS PUEDEN SER ILUSTRATIVOS PARA OTROS PAÍSES)				
Nombre del cemento	Símbolo	Receta	% Clínker	Notas
Portland	«PC»	100% PC	95 - 97 90 - 92	Algunos estados de Estados Unidos autorizan la inclusión de 3% de GGBFS (del inglés, <i>Ground Granulated Blast Furnace Slag Cement</i> : cemento de escoria de alto horno granulada y molida). Las normas más recientes autorizan una inclusión ≤ 5% de piedra caliza triturada.
Albañilería	«MC»	2/3 PC	64	Varía considerablemente
Portland modificado con escoria	I(SM)	escoria < 25%	>70 - 93	
Portland BF Slag	IS	escoria 25-70%	28 - 70	
Portland puzolano	IP y P	puzolano 15-40%	28 - 79/81	la base es el PC y/o el IS
Portland modificado con puzolano	I(SM)	puzolano <15%	28 - 93/95	la base es el PC y/o el IS
Cemento de escoria	S	escoria 70+%	<28/29	puede utilizar CaO en vez de clínker

PORCENTAJE DE CLÍNKER EN EL PRODUCTO						
Porcentaje de aditivos (puzolano+escoria) en el cemento mezclado*						
Proporción de productos (PC/mezcla)**	0%	10%	20%	30%	40%	75%
100/0	95 - 97	0	0	0	0	0
0/100	0	85,5	76	66,5	57	23,8
15/85	14,2	86,9	78,9	70,8	62,7	26,4
25/75	23,8	87,9	80,8	73,6	66,5	41,6
30/70	28,5	88,35	81,7	75,1	68,4	45,2
40/60	38	89,3	83,6	77,9	72,2	52,3
50/50	47,5	90,3	85,5	80,8 ***	76	59,4
60/40	57	91,2	87,4	83,6	79,8	66,5
70/30	66,5	92,2	89,3	86,5	83,6	73,6
75/25	71,1	92,6	90,1	87,8	85,4	77,1
85/15	80,8	93,6	92,2	90,7	89,3	84,3

Notas:

* La inclusión de escorias determina que el cemento sea portland y/o cemento portland de escoria de alto horno. Excepto para el intervalo de 100 por ciento portland mismo, se supone que todos los demás portland contienen un 95 por ciento de clínker.

** La proporción de productos se refiere al intervalo de productos de un país, p. ej., 75 por ciento de la producción total es portland y el resto es mezcla.

Se supone que todo el cemento hidráulico es portland y/o mezclado, o puzolano puro. Para la albañilería, se aproximaría una proporción de productos entre 60/40 y 70/30 de portland/mezcla, para la columna de 75 por ciento de aditivo. Se supone que los otros cementos hidráulicos (p. ej., los aluminosos) son nulos.

*** Ejemplo: Fracción de clínker para un país donde la producción de cemento es 50 por ciento de cemento portland y 50 por ciento de cemento mezclado, y el cemento mezclado contiene 70 por ciento de cemento portland y 30 por ciento de aditivos.

MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 requiere la recolección de datos sobre la producción de clínker. Se sugiere que si para los censos nacionales se sondean actualmente datos sobre la producción de cemento, el compilador del inventario debe investigar la posibilidad de ampliar los sondeos para recolectar datos sobre la producción de clínker. Es una *buen práctica* recopilar datos sobre la producción de clínker directamente de las estadísticas nacionales, o bien, preferentemente, de las plantas individuales. Se sugiere también que los compiladores del inventario recolecten información sobre el contenido de CaO del clínker y la fracción de éste que proviene de carbonatos. Allí donde haya datos disponibles sobre el CaO proveniente de fuentes no carbonatadas (p. ej., escorias o cenizas volantes),

este CaO no debe incluirse en el contenido de CaO del clínker utilizado para calcular las emisiones. En la medida de lo posible, los datos deben ser recolectados para documentar las prácticas de captura y reciclado en las plantas e igualmente para determinar la composición media o típica y la fracción de calcinación del CKD. Más que la utilización de totales nacionales, es la recolección de datos de los productores individuales (si ésta es completa) la que reduce la incertidumbre de las estimaciones, pues estos datos darán cuenta de las variaciones de las condiciones al nivel de las plantas.

MÉTODO DE NIVEL 3

Es probable que el tipo de datos de la actividad requeridos para el Nivel 3 esté disponible sólo en las plantas individuales. Toda entidad que genere informes haciendo uso del Nivel 3 debe garantizar que todas las entradas de carbonatos (es decir, los tipos, las cantidades, todas las fuentes) hacia los hornos de altas temperaturas, hayan sido investigadas por completo como parte de la implementación inicial del método de Nivel 3, y que esta investigación completa se repita cada vez que ocurran cambios significativos en los materiales y en los procesos. Tras un análisis completo de las entradas de carbonatos, y bajo la premisa de que no ocurre ningún cambio significativo ni en la composición de los materiales, ni en el proceso de producción, resulta coherente con las *buenas prácticas* determinar un factor de emisión riguroso y específico de la planta que esté basado en el análisis de las entradas de carbonatos y aplicar este factor de emisión a la producción de clínker (que suele calcularse en forma diaria). Así, los datos de producción de clínker podrán ser utilizados ulteriormente en los cálculos para estimar las emisiones en calidad de datos representativos. Para mantener la coherencia con las *buenas prácticas*, este vínculo debe reevaluarse periódicamente.

En general, en una planta de cemento típica, la piedra caliza o las rocas carbonatadas similares serán las materias primas dominantes (80 a 90 por ciento) y estos datos deberán recolectarse anualmente. Sin embargo, es probable que haya un componente carbonatado en las arcillas, esquistos, arenisca y otras materias primas complementarias, así como en el carbón y tal vez en algunos otros combustibles. Si durante el desarrollo de una investigación completa se determina que la cantidad de carbonatos provenientes de fuentes menores es pequeña (p. ej., inferior al 5 por ciento del carbonato total), la planta puede aplicar un valor constante para la (o las) fuentes menores en los años intermedios previos a una subsiguiente investigación completa. Al reconocer que la estimación de los datos de la actividad para estas fuentes menores puede conducir a errores analíticos (u otros), se puede suponer, para los efectos del cálculo de emisiones, que la fuente menor de carbonatos es el CaCO_3 , pero esta hipótesis debe ser documentada de manera transparente.

De los datos de la actividad se deben excluir todos los carbonatos que, en vez de entrar al horno de altas temperaturas, sólo se introducen al molino de acabado. Por ejemplo, una planta puede «diluir» su cemento portland acabado mezclándolo con un pequeño porcentaje (1 a 5 por ciento) de piedra caliza molida. Los carbonatos añadidos en el molino de acabado no son calcinados y por lo tanto no contribuyen con CO_2 .

2.2.1.4 Exhaustividad

Al aplicar un método de Nivel 1, los compiladores del inventario deben estar ciertos de dar cuenta de las importaciones y exportaciones de clínker. En el caso de los países importadores netos de clínker, el error de no deducir las importaciones netas de clínker produce una sobreestimación de las emisiones provenientes de la producción de cemento. En el caso de los países exportadores netos de clínker, el error de no incluir las exportaciones netas produce una estimación insuficiente de las emisiones provenientes de las plantas de cemento. Las fuentes potenciales de datos comerciales se discuten en la Sección 2.2.1.3.

Los datos de producción de clínker pueden estar disponibles en las bases de datos de las estadísticas nacionales, o bien, pueden recolectarse si no se han publicado en las estadísticas nacionales. Los datos sobre la producción de cemento y/o de clínker tomados de las estadísticas nacionales pueden no estar completos en algunos países en los que una parte sustancial de la producción proviene de numerosos hornos pequeños, en particular los hornos de caña vertical, cuyos datos son difíciles de obtener.

La exhaustividad es una cuestión particularmente importante a considerar allí donde se utilizan datos específicos de las plantas para estimar las emisiones nacionales mediante el método de Nivel 3. Bajo el Nivel 3, es importante que se consideren todas las plantas que producen clínker y que todos los carbonatos utilizados para fabricarlo estén incluidos en los cálculos de emisiones. Las plantas productoras de clínker están bien identificadas en cada país, pero los datos sobre la fracción de peso de los carbonatos consumidos pueden no ser fácilmente asequibles. Para que el método de Nivel 3 pueda considerarse como «exhaustivo», deben registrarse todos los carbonatos consumidos.

En aquellos países donde sólo un subconjunto de las plantas de clínker declara datos para el método de Nivel 3 o donde se da una transición del Nivel 2 hacia el Nivel 3, quizá no sea posible declarar emisiones utilizando el Nivel 3 para todas las instalaciones durante el período de transición. Si los datos sobre las entradas de carbonatos no están disponibles para que todas las plantas declaren las emisiones utilizando el Nivel 3, es posible que se

pueda determinar la parte de la producción representada por las plantas que no declaran y usar esta información para estimar las emisiones restantes utilizando el Nivel 2, de modo que se garantice la exhaustividad durante el período de transición. Cuando un país cambia del Nivel 1 al Nivel 2, se puede aplicar un procedimiento similar.

También se debe considerar la eventualidad del cómputo doble. Por ejemplo, los compiladores del inventario deben revisar las estadísticas utilizadas para estimar las emisiones de las categorías de fuente «Otros usos de carbonatos en los procesos» para garantizar que las emisiones declaradas en esa categoría de fuente no resulten del uso de esos carbonatos en la producción de cemento. Allí donde los carbonatos se emplean para la producción de cemento, la emisión debe declararse bajo Producción de cemento. Por último, los compiladores del inventario deben incluir en esta categoría de fuente sólo las emisiones relacionadas con el proceso de producción de cemento. Para evitar el cómputo doble, es una *buena práctica* justificar las emisiones relacionadas con la combustión en el volumen Energía.

Existe una cuestión adicional que, aunque no está incluida en la metodología actual, puede llegar a ser pertinente para consideraciones futuras. La cal libre (CaO que no forma parte de las fórmulas de materiales de clínker mencionada más arriba) liberada durante el curado del concreto (es decir, durante la hidratación de los minerales del clínker) puede llegar a reabsorber CO₂ atmosférico en un proceso llamado carbonización. Sin embargo, la velocidad de carbonización es muy lenta (demora de años a siglos) y desde un punto de vista práctico, no debe considerarse una *buena práctica* tomarlo en cuenta. Ésta es un área de trabajo futuro, previa a su inclusión en los inventarios nacionales.

2.2.1.5 Desarrollo de una serie temporal coherente

Estas *Directrices* introducen dos cambios en la estimación de las emisiones provenientes de la producción de cemento. En primer lugar, según el Nivel 1, el factor de emisión por defecto incluye ahora un factor corrector de 2 por ciento para el CKD. El factor corrector para el CKD se incluye ahora en el Nivel 1 porque refleja mejor las fuentes de emisiones durante la producción del clínker. Es una *buena práctica* recalcular las estimaciones anteriores de emisiones de Nivel 1, utilizando el factor de emisión presentado en la Sección 2.2.1.2.

Igualmente, se ha introducido un nuevo método de Nivel 3 basado en las entradas de carbonatos en la producción de clínker. Históricamente, estos datos pueden estar disponibles o no. Si el compilador del inventario decide implementar el Nivel 3 para los inventarios actuales y futuros (en contraste con un método histórico de Nivel 2), se lo alienta a recopilar estos datos para años históricos con el fin de garantizar la coherencia de la serie temporal. Cuando no disponga de datos, el compilador puede referirse al «Método de la superposición parcial» (véase Volumen 1, Sección 5.3) para intentar recalcular las estimaciones previas. Esta relación entre las emisiones estimadas a partir del método de las entradas de carbonato (Nivel 3) y el método basado en las salidas de la producción de clínker (Nivel 2) debería ser, para una planta en particular, relativamente constante a través del tiempo; pero puede fallar si el número de plantas o sus tecnologías o sus materias primas han cambiado significativamente con el tiempo. Una vez establecida esta relación, las estimaciones previas pueden ser recalculadas basándose en ella (véase el Volumen 1, Sección 5.3). Cuando los compiladores cambian del método de Nivel 1 al de Nivel 2, se puede aplicar un procedimiento similar.

2.2.2 Evaluación de incertidumbre

Las estimaciones de la incertidumbre para la producción de cemento son el resultado predominante de las incertidumbres asociadas con los datos de la actividad y en una menor medida, de la incertidumbre relacionada con el factor de emisión del clínker.

2.2.2.1 Incertidumbres del factor de emisión

Para el Nivel 1, el componente mayor de la incertidumbre es el de la fracción de clínker del (o los) cementos producidos. Si no se dispone de datos fiables sobre las importaciones y las exportaciones de clínker, la incertidumbre en la estimación de su producción será más alta. Aunque el factor corrector por defecto para el CKD posee una incertidumbre muy grande, su efecto sobre el cálculo de las emisiones globales es aún menor que la incertidumbre asociada con la fracción de clínker. Bajo el Nivel 2, la fuente mayor de incertidumbre está asociada con la determinación del contenido de CaO del clínker. Si se dispone de datos sobre el clínker, la incertidumbre del factor de emisión es igual a la incertidumbre de la fracción de CaO y a la incertidumbre asociada a la hipótesis de que éste proviene en totalidad del CaCO₃ (Cuadro 2.3). Para el Nivel 3, la incertidumbre asociada con los factores de emisión de la fuente de carbonatos es relativamente pequeña, pues éstos se basan en cocientes estequiométricos. Puede haber algo de incertidumbre asociada a la hipótesis, en el Nivel 3, de que la calcinación de los carbonatos del CKD es del 100 por ciento.

Independientemente del Nivel implementado, en general, el CKD es el factor menos caracterizado en la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cemento.

2.2.2.2 Incertidumbres en los datos de la actividad

Cuando los datos sobre la producción de clínker se estiman a partir de la producción de cemento, la incertidumbre en los datos de la actividad puede acercarse a valores tan altos como un 35 por ciento. Para el Nivel 2, la incertidumbre en los datos sobre los tonelajes de producción de clínker, cuando están disponibles, es del orden del 1 por ciento al 2 por ciento. En vez de usar totales nacionales, la recolección de datos de los productores individuales (si es completa) reduce la incertidumbre de las estimaciones, pues estos datos darán cuenta de las variaciones de las condiciones al nivel de las plantas. Esto es particularmente importante para determinar las posibles diferencias en la composición del clínker y en las irregularidades de la producción anual de cemento (es decir, que varias veces al año se utilicen las reservas de clínker en vez de producirlo). Con excepción del CKD, las fuentes más grandes de incertidumbre asociadas con el Nivel 3, son las incertidumbres asociadas con la identificación de las especies de carbonatos (entre 1 y 5 por ciento) y con los pesos de las materias primas.

Aunque las emisiones son mucho menores que las de los carbonatos, en las estimaciones de Nivel 2 puede haber una incertidumbre considerable asociada a la estimación de las emisiones del CKD, como también en las de Nivel 3, si las plantas no pesan el CKD que no se recicla hacia el horno o si las plantas no están equipadas con torres lavadoras de gases (*scrubbers*). Cuando se desconoce el peso y la composición del CKD de una planta, la incertidumbre es mayor. A guisa de ejemplo, se ha intentado estimar las incertidumbres aproximadas para los diferentes factores que aparecen en las Ecuaciones 2.1 – 2.5 y/o en las etapas de la fabricación del clínker y del cemento. Las incertidumbres se presentan en el Cuadro 2.3 y son incertidumbres aproximadas de los componentes, es decir, son aquellas asociadas con una etapa o con una actividad de la fabricación del clínker particular. Con el fin de cuantificar la incertidumbre para la producción del cemento (clínker), las incertidumbres por defecto presentadas en el Cuadro 2.3 deben combinarse según la orientación del Volumen 1, Sección 3.2.3. Donde se presentan intervalos para los valores de incertidumbre, se deben utilizar valores medios del intervalo, a menos que las circunstancias específicas del país o de la planta sugieran que se debe utilizar otro valor.

CUADRO 2.3 VALORES DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO		
Incertidumbre ^a	Comentario	Nivel
Análisis químico/Composición		
2-7%	Hipótesis de un factor de 95% de clínker en el cemento portland	1
1-2%	Análisis químico del clínker para determinar el CaO	2
3-8%	Hipótesis de un 65% de CaO en el clínker	2
1-3%	Hipótesis de que el 100% del CaO proviene del CaCO ₃ (la incertidumbre es mayor si se utilizan escorias o cenizas volantes que no se contabilizan)	2
1%	Hipótesis de un 100% de calcinación del carbonato destinado a formar el clínker	2, 3
1-3%	Determinación del kerógeno (u otro carbono que no proviene de carbonatos)	3
1-3%	Análisis químico global en relación con el contenido de carbonato (masa) y con el tipo	3
1-5%	Hipótesis de que la especie de carbonato es 100% CaCO ₃	3

CUADRO 2.3 VALORES DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO		
Incertidumbre ^a	Comentario	Nivel
Datos de producción		
1-2%	Datos de producción de cemento declarados (al nivel de planta)	1
35%	Hipótesis de que la producción de un país es 100% de cemento portland	1
10%	Uso de estimaciones (estadísticas nacionales) sobre los datos de producción de un país (o síntesis por agregación de las plantas)	1, 2
Variable	Uso de datos de pesos declarados, pero redondeados, para el cemento o el clínker (p. ej., informes de nivel nacional expresados en grandes unidades; la incertidumbre es de una unidad de la última cifra significativa mostrada)	1, 2
1-2%	Pesaje o cálculo de la producción de clínker; supone una declaración completa	2
1-3%	Incertidumbre de los pesajes de materias primas en las plantas	3
CKD		
25-35%	Hipótesis por defecto de que las emisiones del CKD corresponden a un 2% de las emisiones relacionadas con la producción del clínker. Esta incertidumbre presupone que un 33% a un 50% del clínker no se recicla. En ausencia de reciclado o si el porcentaje de calcinación excede significativamente el 50%, la incertidumbre puede llegar a un 50% o más.	
1%	Hipótesis de que los componentes originales del CKD son los de la mezcla cruda	2, 3
1%	Hipótesis de que todos los carbonatos (calcinados o restantes) en el CKD son CaCO ₃	2, 3
10-35%	Estimación del porcentaje de calcinación del CKD	2, 3
20-80%	Hipótesis de un 100% de calcinación para el CKD	2, 3
hasta un 60%	Hipótesis de un 50% de calcinación del CKD	2, 3
5%	Pesaje del CKD capturado por las torres lavadoras de gases (scrubbers)	2, 3
1-3%	Pesaje del CKD capturado por lastorres lavadoras de gases que vuelve al horno	2, 3
5-10%	Pesaje del CKD capturado por las torres lavadoras de gases que no se recicla en el horno (otra eliminación)	2, 3
10-15%	Estimación del peso del CKD redirigido automáticamente hacia el horno	2, 3
20-30%	Estimación del peso del CKD si nada se recupera ni se recicla hacia el horno	2, 3
Importaciones/exportaciones		
10%	Datos comerciales sobre el clínker (si los códigos tarifarios se identifican claramente y no se incluye el cemento)	1
50% del tonelaje importado	Sobreestimación del error de no deducir las importaciones netas de clínker para el consumo (esto se debe al hecho de que, según la Ecuación 2.4, el CO ₂ constituye la mitad del peso del clínker)	1

^a Estimaciones basadas en dictámenes de expertos.

2.2.3 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

2.2.3.1 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)

Además de las orientaciones generales sobre GC/CC, se delinean a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

COMPARACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE EMISIONES OBTENIDAS MEDIANTE LOS DIFERENTES MÉTODOS

Se pueden hacer comparaciones entre las emisiones estimadas mediante los diferentes niveles. Por ejemplo, si para recolectar los datos de la actividad se usa un tratamiento «de abajo hacia arriba» (es decir, recopilación de datos específicos de las plantas), los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones de emisiones con las estimaciones calculadas a partir de los datos nacionales de producción para el cemento o el clínker (tratamiento «de arriba hacia abajo»). En los casos en los que se utiliza un método híbrido de Nivel 1/2 ó Nivel 2/3 durante un período de transición, se considera una *buena práctica* estimar las emisiones para todas las instalaciones que utilizan el Nivel más bajo para comparar los resultados del análisis con los resultados obtenidos con el empleo del método híbrido. Los resultados de tales comparaciones deben registrarse con fines de documentación interna, incluidas las explicaciones sobre cualquier discrepancia.

REVISIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Los compiladores del inventario deben comparar los factores de emisión nacionales agregados con los factores por defecto del IPPC para determinar si el factor nacional es razonable respecto del factor por defecto del IPPC. Las diferencias entre los factores nacionales y los factores por defecto deben explicarse y documentarse, en particular si son representativos de circunstancias diferentes.

Si se utiliza el método agregado «de arriba hacia abajo», pero se dispone de algunos datos limitados específicos para las plantas, los compiladores del inventario deben comparar los factores al nivel de planta o de instalación con el factor agregado empleado para la estimación nacional. Esto indica si los datos son razonables y representativos.

VERIFICACIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD ESPECÍFICOS DE LAS INSTALACIONES

Para los datos específicos de las instalaciones, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias entre las instalaciones para establecer si ello refleja la presencia de errores, de diferentes técnicas de medición, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones operativas o en las tecnologías. Para la producción de cemento, los compiladores del inventario deben comparar los datos de la planta (contenido de CaO del clínker, contenido de clínker en el cemento) con los de otras plantas del país.

Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de actividad se determinan de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces debe evaluarse cuidadosamente la utilización de estas emisiones o datos de actividad, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones. Si se observa un estándar elevado en las mediciones y la GC/CC se aplica en la mayoría de las instalaciones, se puede revisar hacia abajo la incertidumbre de las estimaciones de emisiones.

2.2.3.2 Generación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales. A continuación se definen la documentación y los informes pertinentes para esta categoría de fuente.

MÉTODO DE NIVEL 1

Además de los datos sobre producción de cemento, también se deben declarar las cantidades de importación y exportación de clínker. Cualquier información relacionada con el contenido de CaO del clínker debe documentarse, incluido el uso de valores por defecto diferentes de los que se discuten en la Sección 2.2.1.2.

MÉTODO DE NIVEL 2

La documentación del Nivel 2 debe incluir una descripción sobre la forma en la que el organismo que declara ha estimado la producción de clínker (es decir, por pesaje directo, por determinación del peso a partir del volumen de la pila de clínker, por cálculo sobre las entradas de materias primas, etc.) y sobre el nivel al cual se recolectaron los datos de la actividad (es decir, al nivel de planta o al nivel nacional). El método para determinar el contenido de CaO del clínker (p. ej., específico del país o por defecto del IPPC) debe documentarse conjuntamente con toda información específica de la planta en relación con la cantidad y el tipo de suministros no carbonatados al horno, tales como la escoria o las cenizas volantes. Deben documentarse todos los procedimientos empleados para cuantificar y determinar el grado de calcinación del CKD. Se debe declarar en forma transparente cuando se haga la hipótesis de que las emisiones de CKD son iguales al 2 por ciento de las emisiones provenientes de la producción de clínker.

MÉTODO DE NIVEL 3

Al documentar el método de Nivel 3 es importante documentar todos los procedimientos empleados y las metodologías utilizadas para identificar la fracción de peso y la identidad de todos los carbonatos, incluidos los carbonatos incorporados en todas las arcillas, esquistos, areniscas u otras materias primas suplementarias que se consumen como materias primas, conjuntamente con sus respectivos factores de emisión.

En la estimación del total de emisiones provenientes de las entradas de carbonatos, es posible sobreestimar las emisiones si los carbonatos no son calcinados completamente. Toda corrección debe ser documentada. Esto incluye la documentación de la fracción de calcinación de las materias primas y la cantidad y fracción de calcinación del CKD.

Es probable que las plantas consideren impracticable la realización de análisis químicos de todas las entradas de materias primas de manera diaria a los fines de los cálculos de CO₂. En vez de ello, en cada instalación se realizará una investigación completa, un cierto número de veces al año, para caracterizar completamente las entradas de carbonatos. Así, en las instalaciones será posible determinar una relación entre las entradas de carbonatos y la producción de clínker, la cual podrá aplicarse a los cálculos de rutina de la instalación durante los periodos intermedios. Además de identificar todos los procedimientos empleados para calcular las emisiones a partir de las entradas de carbonatos, deben documentarse todos los pasos necesarios para identificar la relación entre entradas de carbonato y producción de clínker.

Toda información relacionada debe ser documentada y declarada; no se considera una *buena práctica* simplemente declarar las estimaciones finales de las emisiones.

2.3 PRODUCCIÓN DE CAL

2.3.1 Cuestiones metodológicas

El óxido de calcio (CaO o cal viva) se forma al calentar la piedra caliza para descomponer los carbonatos. Se hace generalmente en hornos de caña u hornos rotatorios a altas temperaturas y en el proceso se libera CO₂. Según los requerimientos del producto (p. ej., metalurgia, pulpa y papel, materiales de construcción, tratamiento de efluentes, ablandamiento de aguas, control del pH y estabilización de suelos), se utiliza principalmente la piedra caliza con fuerte proporción de calcio (calcita), según la reacción siguiente:



La dolomita y las piedras calizas dolomíticas (con fuerte proporción de magnesio) pueden también procesarse a altas temperaturas para obtener cal dolomítica (y liberar CO₂) según la reacción siguiente:

$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomita) + calor \rightarrow CaO·MgO (cal de dolomita) + 2CO₂. En algunas instalaciones, se produce también cal hidratada (apagada) mediante operaciones adicionales de hidratación.

La producción de cal se realiza en una serie de etapas, incluida la extracción de las materias primas, la trituración y el calibrado, la calcinación de las materias primas para producir cal y (si se requiere) la hidratación de la cal para obtener hidróxido de calcio.

En algunos casos, el consumo de cal como producto puede no resultar en emisiones netas de CO₂ hacia la atmósfera. El uso de la cal hidratada para ablandar las aguas, por ejemplo, resulta en que el CO₂ reaccione con la cal para volver a formar carbonato de calcio, lo cual no produce emisiones de CO₂ hacia la atmósfera. De manera similar, el carbonato de calcio precipitado que se usa en la industria del papel así como en otras aplicaciones industriales, es un producto derivado de la reacción entre el CO₂ y la cal viva con fuerte proporción de calcio. Durante el proceso de la refinación del azúcar, se utiliza la cal para eliminar las impurezas del jugo de caña crudo; todo exceso de cal puede eliminarse mediante carbonización. En estas industrias específicas, toda recarbonización puede calcularse y declararse sólo donde se empleen métodos probados y validados para calcular la cantidad de CO₂ que reacciona con la cal para volver a formar el carbonato de calcio. Allí donde se cumplan estas condiciones, esto puede declararse bajo la Categoría 2H, Otros.

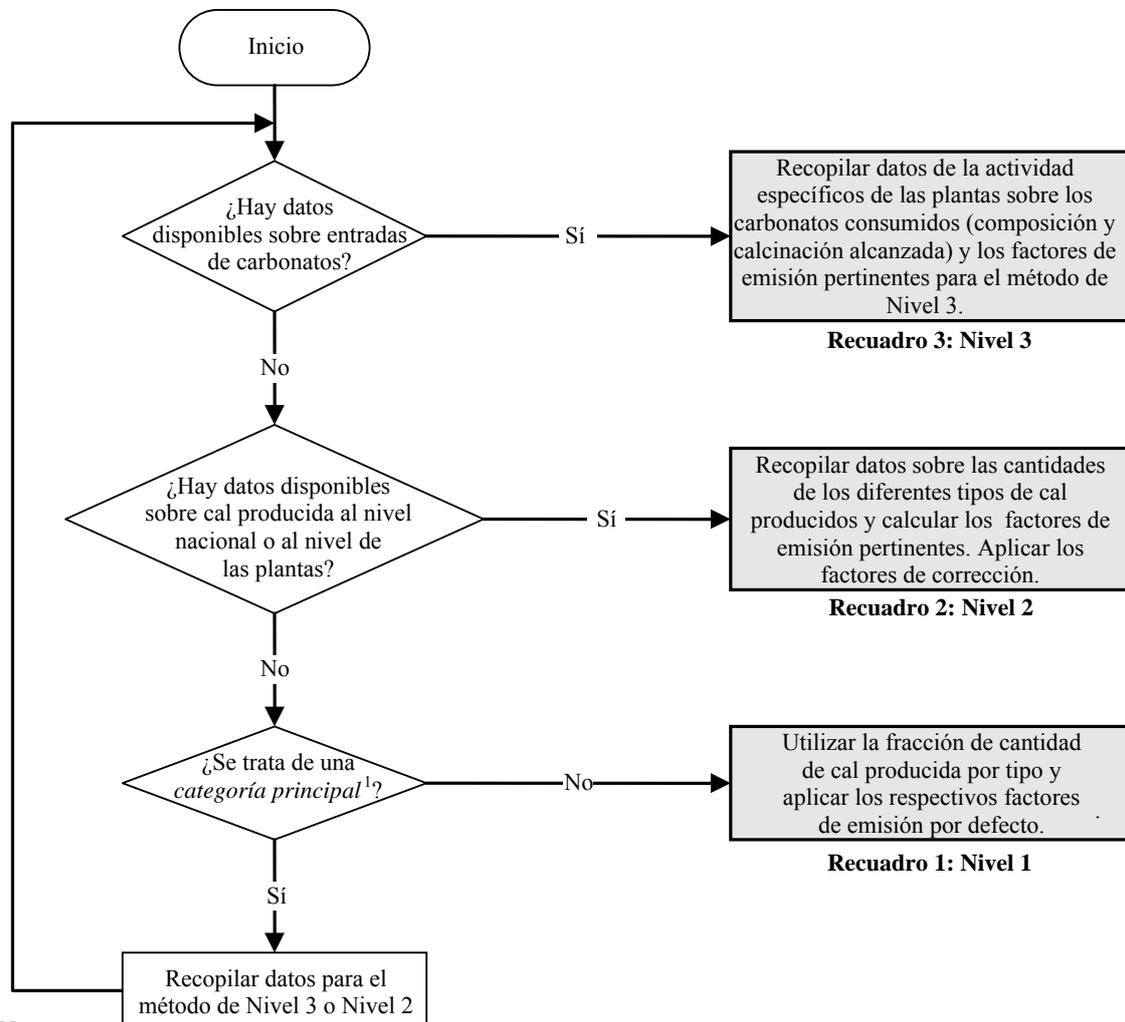
Tal como se analiza en la Sección 2.3.1.3, durante la producción de cal puede generarse polvo de horno de cal (LKD, del inglés, *Lime Kiln Dust*). Las estimaciones de emisiones determinadas mediante el Nivel 2 y el Nivel 3 deben dar cuenta de las emisiones asociadas con el LKD.

2.3.1.1 Elección del método

Al igual que en el caso de las emisiones procedentes de la producción de cemento, existen tres metodologías básicas para estimar las emisiones provenientes de la producción de cal: un método basado en las salidas, en el cual se usan valores por defecto (Nivel 1); un método basado en las salidas en el cual se estiman las emisiones de la producción de CaO y de CaO·MgO y se usa información específica del país para los factores correctores (Nivel 2); y un método basado en las entradas de carbonato (Nivel 3). A la diferencia del método de Nivel 3 que requiere una evaluación específica para la planta, los métodos de Nivel 1 y Nivel 2 pueden aplicarse, ya sea a las estadísticas nacionales, o donde sea posible, a las de las plantas. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, como se muestra en la Figura 2.2.

Es una *buena práctica* evaluar las estadísticas nacionales disponibles respecto de la exhaustividad y de las proporciones de piedra caliza a dolomita utilizadas en la producción de cal. Algunas industrias producen reactivos de cal no comerciales para utilizarlos en sus propios procesos (p. ej., la industria del hierro y del acero para usos como agente de escorificación). Toda producción de cal, sea ésta fabricada como un producto comercial o no comercial, debe declararse bajo la Subcategoría 2A2 del IPPC, Producción de cal.

Figura 2.2 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cal**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de Categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

MÉTODO DE NIVEL 1

El método de Nivel 1 se basa en la aplicación de un factor de emisión por defecto a los datos nacionales de producción de cal. Si bien para una *buena práctica* de Nivel 1 no es necesaria la información específica del país

sobre la producción de cal por tipos (p. ej., cal con fuerte proporción de calcio, cal de dolomita o cal hidráulica), los datos pueden usarse allí donde estén disponibles para identificar los tipos específicos de cal producida en el país. No es necesario dar cuenta del LKD para una *buena práctica* de Nivel 1.

MÉTODO DE NIVEL 2

Si hay datos de nivel nacional sobre los tipos de cal producidos, es una *buena práctica* estimar las emisiones mediante la Ecuación 2.6. El método de Nivel 2 requiere de información específica del país sobre la proporción de cal hidratada que se produce. Se deben obtener las proporciones típicas de producto de cal respecto de producción de LKD al nivel de planta.

ECUACIÓN 2.6
NIVEL 2: EMISIONES BASADAS EN LOS DATOS DE PRODUCCIÓN NACIONAL DE CAL, POR TIPOS

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \sum_i (EF_{cal,i} \cdot M_{l,i} \cdot CF_{lkd,i} \cdot C_{h,i})$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de cal, toneladas

EF_{cal,i} = factor de emisión para la cal de tipo *i*, toneladas de CO₂/ toneladas de cal (véase Ecuación 2.9)

M_{l,i} = producción de cal de tipo *i*, toneladas

CF_{lkd,i} = factor corrector para el LKD para la cal de tipo *i*, sin dimensión

Esta corrección puede justificarse de una manera similar que para el CKD (Ecuación 2.5, pero se omite el factor (EF_c/EF_{cl}))

C_{h,i} = factor corrector para la cal hidratada del tipo de cal *i*, sin dimensión (Véase el análisis de la Sección 2.3.1.3, Elección de los datos de la actividad.)

i = cada una de las cales específicas enumeradas en el Cuadro 2.4

MÉTODO DE NIVEL 3

El Nivel 3 se basa en la recolección de datos específicos de la planta sobre el (o los) tipos y cantidades de carbonatos consumidos para producir cal, así como sobre el (o los) factores de emisión respectivos del (o de los) carbonatos consumidos. El método de Nivel 3 para estimar emisiones provenientes de la producción de cal es similar al de la Ecuación 2.3 para la producción de cemento, excepto que hay una corrección para el LKD en vez del CKD y que no es necesario corregir para las emisiones provenientes de materiales no combustibles que contienen carbono. A diferencia del caso del CKD y de los hornos de cemento, el LKD es rara vez reciclado hacia el horno de cal (pero el LKD puede usarse como suministro para un horno de cemento). Para los efectos de la estimación de las emisiones en la Ecuación 2.7, se supone que el LKD no se recicla hacia el horno.

ECUACIÓN 2.7
NIVEL 3: EMISIONES BASADAS EN LAS ENTRADAS DE CARBONATOS

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \sum_i (EF_i \cdot M_i \cdot F_i) - M_d \cdot C_d \cdot (1 - F_d) \cdot EF_d$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de cal, toneladas

EF_i = factor de emisión para el carbonato en particular *i*, toneladas de CO₂/ toneladas de carbonato (véase el Cuadro 2.1)

M_i = peso o masa del carbonato *i* consumido en el horno, toneladas

F_i = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato *i*, fracción ^a

M_d = peso o masa del LKD, toneladas

C_d = fracción del peso del carbonato original en el LKD, fracción ^a. Este factor puede justificarse de una manera similar que para el CKD.

F_d = fracción de calcinación alcanzada para el LKD, fracción ^a

EF_c = factor de emisión para el carbonato no calcinado en el LKD, toneladas de CO₂/toneladas de carbonato ^b

Notas sobre los valores por defecto para la Ecuación 2.7

- a: Fracciones de calcinación: en ausencia de datos reales, es coherente con las *buenas prácticas* suponer que el grado de calcinación alcanzado es de un 100 por ciento (p. ej., $F_i = 1,00$) o muy cercano a este valor. Para el LKD, es más probable un valor de $F_d < 1,00$, pero los datos pueden presentar una gran variabilidad y una fiabilidad relativamente baja. En ausencia de datos fiables para el LKD, la suposición de un valor de $F_d = 1,00$ anulará la corrección por sustracción para el carbonato no calcinado restante en el LKD.
- b: Debido a que el carbonato de calcio es el carbonato más dominante entre las materias primas, en ausencia de mejores datos puede suponerse que éste totaliza el 100 por ciento del carbonato restante en el LKD. Es por lo tanto coherente con las *buenas prácticas*, que se asigne a C_d un valor igual a la proporción de carbonato de calcio existente en la materia prima que se introduce en el horno. Igualmente, en la ausencia de mejores datos, es coherente con las *buenas prácticas* que se use el factor de emisión del carbonato de calcio para EF_d .

2.3.1.2 Elección de los factores de emisión

MÉTODO DE NIVEL 1

El Nivel 1 es un método basado en las salidas y aplica un factor de emisión a la cantidad total de cal producida. El factor de emisión se basa en los cocientes estequiométricos ilustrados en el Cuadro 2.4, que varían según el tipo de cal producida. El cociente estequiométrico representa la cantidad de CO_2 liberada por el carbonato precursor de la cal, si se supone que el grado de calcinación alcanzado es del 100 por ciento y que no hay LKD. Por ejemplo, 1 tonelada de CaO requiere la calcinación de 1,785 toneladas de $CaCO_3$, lo cual libera 0,785 toneladas de CO_2 si la calcinación es completa.

En ausencia de datos específicos del país, es una *buen práctica* suponer un 85 por ciento de producción de cal con fuerte proporción de calcio y un 15 por ciento de producción de cal de dolomita (Millar, 1999). Sobre esta base, la Ecuación 2.8 ilustra cómo calcular el factor de emisión de Nivel 1 para la producción de cal.

ECUACIÓN 2.8

NIVEL 1: FACTOR DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL

$$\begin{aligned}
 EF_{cal} &= 0,85 \cdot EF_{cal \text{ con fuerte proporción de calcio}} + 0,15 \cdot EF_{cal \text{ de dolomita}} \\
 &= 0,85 \cdot 0,75 + 0,15 \cdot 0,77^a \\
 &= 0,6375 + 0,1155 \\
 &= 0,75 \text{ toneladas de } CO_2 / \text{ toneladas de cal producida}
 \end{aligned}$$

Notas sobre los valores por defecto para la Ecuación 2.8:

- a: El valor por defecto EF para la cal de dolomita puede ser 0,86 ó 0,77 según la tecnología empleada para la producción de cal. Véase Cuadro 2.4.

CUADRO 2.4 PARÁMETROS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO DE LOS FACTORES DE EMISIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE CAL					
Tipo de cal	Cociente estequiométrico [toneladas de CO ₂ por tonelada de CaO o de CaO·MgO] (1)	Intervalo del contenido de CaO [%]	Intervalo del contenido en MgO [%] ^d	Valor por defecto para el contenido de CaO o de CaO·MgO [fracción] (2)	Factor de emisión por defecto [toneladas de CO ₂ por tonelada de cal] (1) • (2)
Cal con fuerte proporción de calcio ^a	0,785	0,785	0,3-2,5	0,95	0,75
Cal de dolomita ^b	0,913	55-57	38-41	0,95 ó 0,85 ^c	0,86 ó 0,77 ^c
Cal hidráulica ^b	0,785	65-92 ^c	NA	0,75 ^e	0,59

Fuente:
^a Miller (1999b) basado en ASTM (1996) y Schwarzkopf (1995).
^b Miller (1999a) basado en Boynton (1980).
^c Este valor depende de la tecnología utilizada por la producción de cal. El valor más alto se sugiere para los países desarrollados, el más bajo para los países en desarrollo.
^d No existe una fórmula química exacta para cada tipo de cal porque la química del producto cal está determinada por la química de la piedra caliza o la dolomita utilizada para fabricar la cal.
^e El contenido total en CaO (incluido aquél de las fases de silicatos).

MÉTODO DE NIVEL 2

De manera similar al Nivel 1, el factor de emisión para la producción de cal del Nivel 2 refleja las proporciones estequiométricas entre el CaO y/o el CaO·MgO, así como el ajuste que da cuenta del contenido de CaO o en CaO·MgO de la cal. Sin embargo, a diferencia del Nivel 1, el Nivel 2 requiere la utilización de datos de nivel nacional sobre la producción de cal por tipos. Es una *buena práctica* aplicar la Ecuación 2.9 para determinar los factores de emisión y para dar cuenta del contenido de CaO o en CaO·MgO.

<p>ECUACIÓN 2.9</p> <p>NIVEL 2: FACTORES DE EMISIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL</p> $EF_{cal,a} = SR_{CaO} \cdot \text{Contenido en CaO}$ $EF_{cal,b} = SR_{CaO \cdot MgO} \cdot \text{Contenido en MgO}$ $EF_{cal,c} = SR_{CaO} \cdot \text{Contenido en CaO}$

Donde:

$EF_{cal,a}$ = factor de emisión para la cal viva (cal con fuerte proporción de calcio), toneladas de CO₂/toneladas de cal

$EF_{cal,b}$ = factor de emisión para la cal de dolomita, toneladas de CO₂/toneladas de cal

$EF_{cal,c}$ = factor de emisión para la cal de dolomita, toneladas de CO₂/toneladas de cal

SR_{CaO} = cociente estequiométrico del CO₂ y CaO (véase Cuadro 2.4), toneladas de CO₂/toneladas de cal

$SR_{CaO \cdot MgO}$ = cociente estequiométrico del CO₂ y del CaO·MgO (véase Cuadro 2.4), toneladas de CO₂/toneladas de cal

Contenido de CaO = proporción de CaO en la cal (véase Cuadro 2.4), toneladas de CaO/toneladas de cal

Contenido de CaO·MgO = proporción de CaO·MgO en la cal (véase Cuadro 2.4), toneladas de CaO·MgO /toneladas de cal

MÉTODO DE NIVEL 3

Los factores de emisión del Nivel 3 se basan en los carbonatos efectivamente presentes. (Véase la Ecuación 2.7 y el Cuadro 2.1.) El Nivel 3 requiere una contabilización completa de los carbonatos (especies y fuentes) y puede incluir una corrección (p. ej., por sustracción) del polvo de horno de cal no calcinado.

2.3.1.3 Elección de los datos de la actividad

Algunas industrias producen cal y la consumen en sus propias operaciones. Puede suceder que esta cantidad de cal no llegue nunca al mercado. Es importante, al recolectar los datos de actividad para la producción de cal, que se incluyan tanto la producción de cal comercial como la de cal no comercial. En muchos países, la obtención de estadísticas sobre la producción de cal no comercial puede exigir muchos esfuerzos. Se sugiere que los compiladores del inventario identifiquen las industrias que potencialmente pueden producir cal no comercial (p. ej., la metalurgia, la pulpa y el papel, la refinación del azúcar, el precipitado de carbonato de calcio, los ablandadores de aguas) y que investiguen si hay tal producción. Como las industrias y los países pueden diferir significativamente respecto de las cantidades de cal no comercial producida, no es posible ofrecer un valor por defecto para estimar estos datos de actividad.

MÉTODO DE NIVEL 1

En el Nivel 1, los compiladores del inventario pueden utilizar valores por defecto para cualquier de las variables siguientes: (1) los tipos de cal producidos y/o (2) la proporción de cal hidratada producida. En el Cuadro 2.4 se presentan los datos sobre los cocientes estequiométricos, los intervalos de los contenidos en CaO y CaO·MgO y los factores de emisión resultantes para los tipos principales de cal producidos. Si no hay datos desagregados para desglosar los tipos de cal, es una *buena práctica* suponer que un 85 por ciento es cal con fuerte proporción de calcio y un 15 por ciento es cal de dolomita (Miller, 1999) y que la proporción de cal hidráulica deba suponerse nula, a menos que se disponga de otra información.

El método de Nivel 1 para la producción de cal no integra una corrección para el LKD. Es posible excluir algunas fuentes de cal del inventario nacional debido a problemas con los datos de actividad (véase Sección 2.3.1.4 y 2.3.2.2.) Si estas cuestiones no se consideran cuidadosamente, el método de Nivel 1 puede subestimar las emisiones.

MÉTODO DE NIVEL 2

Al implementar el método de Nivel 2 es importante recolectar datos desagregados para los tres tipos de cal, pues esto mejorará las estimaciones de emisiones. Hay tres tipos principales de cal no hidratada:

- Cal con fuerte proporción de calcio (CaO + impurezas);
- Cal de dolomita (CaO·MgO + impurezas);
- Cal hidráulica (CaO + silicatos de calcio hidráulicos), que es una sustancia entre la cal y el cemento.

La razón principal para distinguir estos tipos es que los dos primeros tienen factores de emisión diferentes. Es importante también corregir para la proporción de cal hidráulica en la producción. De manera parecida a la del método de Nivel 2 para la producción de cemento, deben recolectarse los datos sobre todas las fuentes no carbonatadas de CaO (cuando sea aplicable).

Durante la producción de cal pueden generarse cantidades importantes de LKD como producto derivado. Las cantidades generadas dependen del tipo de horno utilizado y de las características de los carbonatos empleados. Según Boynton (1980) un horno rotatorio típico genera una pérdida de polvos por fricción de 9 a 10 por ciento por tonelada de cal producida, o de 16 a 18 por ciento de la entrada de materia prima. La composición química del LKD varía según la materia prima de entrada, pero un LKD típico de cal con fuerte proporción de calcio puede contener un 75 por ciento de óxido de calcio y de carbonato de calcio no calcinado combinados (en una proporción aproximada de 50:50), las impurezas restantes son: sílice, óxidos de aluminio y de hierro, así como azufre (según el combustible utilizado). La corrección para el LKD en los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3 es análoga a la del CKD en la producción de cemento, tanto en metodología de cálculo como en valores por defecto. En la medida de lo posible, deben recolectarse datos sobre las proporciones típicas de LKD respecto de la producción de cal y sobre la composición típica del LKD. Ante la ausencia de datos, los compiladores del inventario pueden suponer una corrección aditiva del 2 por ciento para dar cuenta del LKD (es decir, multiplicar las emisiones por 1,02).

Los hornos de caña vertical generan relativamente poca cantidad de LKD y se dictamina que para los hornos de caña vertical, no es necesario estimar un factor corrector para el LKD pues resultaría insignificante.

MÉTODO DE NIVEL 3

Es una *buena práctica* recopilar datos específicos de la planta para la fracción de peso del (o de los) carbonatos consumidos para la producción de cal y para la fracción de calcinación alcanzada. Deben recolectarse también datos sobre la cantidad (peso en seco) y la composición del LKD producido. Análogamente al método de Nivel 3 para la producción de cemento, las emisiones de LKD deben restarse de las estimaciones de Nivel 3 para la cal.

Cuando se estimen los datos de consumo de carbonatos, hay que considerar un par de cuestiones de primer orden. Los datos deben estar disponibles y recolectarse al nivel de planta, pues las estadísticas nacionales sobre consumo de carbonatos en la producción de cal pueden estar incompletas. De manera similar que para la producción del cemento, aunque es probable que la piedra caliza o la dolomita sean los carbonatos dominantes, es importante garantizar que todas las entradas de carbonatos estén identificadas y contabilizadas.

CORRECCIÓN PARA LA PROPORCIÓN DE CAL HIDRATADA

Tanto la cal con fuerte proporción de calcio como la cal de dolomita pueden «apagarse» y convertirse en cal hidratada, esto es, en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o en $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2$. Es una *buena práctica* incluir una corrección para la cal hidratada bajo el Nivel 2 y donde haya datos disponibles, bajo el Nivel 1. Si no se dispone de datos para el Nivel 1, es una *buena práctica* suponer que la producción de cal hidratada es nula.

Si x es la proporción de cal hidratada e y su contenido de agua, es una *buena práctica* multiplicar la producción por el factor corrector $1 - (x \cdot y)$. Dado que la gran mayoría de la cal hidratada producida tiene una fuerte proporción de calcio (90 por ciento), los valores por defecto son $x=0,10$ e $y=0,28$ (contenido de agua por defecto), lo que resulta en un factor corrector de 0,97. Este factor corrector por defecto para la cal hidratada puede incluirse en la Ecuación 2.6.

2.3.1.4 Exhaustividad

Para una *buena práctica* se necesitan datos de la actividad (esto es, de la producción de cal) completos. Es típico que la producción declarada dé cuenta sólo de una parte de la producción real, pues las estadísticas sobre la producción de cal pueden considerar sólo los productos vendidos en el mercado. Ni el uso ni la producción de cal como producto intermedio no comercial son debidamente contabilizados ni declarados. Por ejemplo, muchas plantas que producen acero, ceniza de sosa sintética, carburo de calcio, magnesia y metal de magnesio, así como las fundiciones de cobre y los ingenios azucareros, producen cal, pero no la declaran a los organismos nacionales. La omisión de estos datos puede conducir a una estimación insuficiente de la producción de cal de un país por un factor de dos o más. Igualmente, puede existir una producción de cal a la escala comunal o de carácter artesanal con fines sanitarios o para usos en el blanqueado. Toda producción de cal debe ser declarada en esta categoría de fuente, fuere producida en hornos de cal como producto comercial, o bien producida como sustancia para la alimentación a procesos de carácter no comercial.

Los compiladores del inventario deben tomar precauciones para evitar el cómputo doble o las omisiones entre esta categoría de fuente y las emisiones debidas al consumo de piedra caliza y de dolomita. Otra fuente potencial de cómputo doble que el compilador del inventario debe tener en mente está asociada con la cal hidratada. Si la producción de cal se corrige para la cal hidratada sin primero establecer que la cal empleada para producir cal hidratada esté incluida en la producción total de cal, la producción de este tipo de cal puede ser contabilizada de manera doble.

Al igual que para el análisis sobre el cemento, cuando se usa el Nivel 3 es importante que se dé cuenta de todas las entradas de carbonatos (p. ej., piedra caliza, dolomita, etc.) sobre una base específica de la planta.

Por último, los morteros a base de cal utilizados en la construcción aumentan su resistencia a través de absorción de CO_2 pero los índices de la reacción de carbonización que ocurre en la práctica son muy inciertos. Como se piensa que este proceso de carbonización en los morteros puede demorar meses o hasta decenios, no se ha factorizado en los cálculos de emisiones. En este momento, no se considera una *buena práctica* incluir este factor en los cálculos de las emisiones. Ésta es un área de trabajo futuro y previo a su inclusión en los inventarios nacionales.

2.3.1.5 Desarrollo de una serie temporal coherente

Es una *buena práctica* calcular las emisiones para producción de cal empleando el mismo método en cada año de la serie temporal. Estas *Directrices* introducen un nuevo método de Nivel 3 que se basa en las entradas de carbonatos en la producción de cal. Históricamente, estos datos pueden estar disponibles o no. Si el compilador del inventario decide implementar este Nivel para los inventarios actuales y futuros, se lo alienta a recopilar estos datos para años históricos con el fin de garantizar la coherencia de la serie temporal. Cuando no se disponga de datos, el compilador puede referirse al «Método de la superposición parcial» (véase Volumen 1, Sección 5.3) para intentar recalculer las estimaciones previas.

Cuando no se disponga de datos, los compiladores del inventario que pasan del método de Nivel 1 al método de Nivel 2 pueden suponer que en el país no se ha producido un cambio significativo en el uso de una entrada de carbonatos hacia otras entradas respecto de la producción de cal. Es una hipótesis bastante razonable, dado que, en particular, la piedra caliza es generalmente la entrada de carbonato predominante.

Los compiladores del inventario deben desagregar los datos de producción de cal en los tres tipos mencionados: cal con fuerte proporción de calcio, cal de dolomita y cal hidráulica. Allí donde no se disponga de datos específicos del país para toda la serie temporal sobre la proporción de cal consumida o sobre la proporción de cal hidratada, pueden estimarse los años restantes mediante el Método de interpolación o de extrapolación de tendencias, tal como se plantea en el Volumen 1, Sección 5.3; o bien, puede suponerse que el año en curso es representativo de la proporción de cal producida en los años precedentes de la serie temporal.

2.3.2 Evaluación de incertidumbre

Las estimaciones de la incertidumbre para la producción de cal resultan predominantemente de las incertidumbres asociadas con los datos de la actividad y en menor medida, de la incertidumbre relacionada con el factor de emisión. Para más información, refiérase, más arriba, a la discusión sobre incertidumbre para la producción de cemento.

CUADRO 2.5 VALORES DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ DE LA PRODUCCIÓN DE CAL		
Incertidumbre	Comentario	Nivel
4-8%	Incetidumbre al suponer un contenido promedio de CaO en la cal	1, 2
2%	Factor de emisión de la cal con fuerte proporción de calcio	1, 2
2%	Factor de emisión de la cal de dolomita	1, 2
15%	Factor de emisión de la cal hidráulica	1, 2
5%	Corrección para la cal hidratada	1, 2
	Posibles errores en el orden de magnitud si no se estima la producción de cal no comercial	1, 2, 3
1-2%	Incetidumbre de los datos de producción de cal al nivel de planta Generalmente, las plantas no determinan las salidas con una mejor precisión. Esto supone declaraciones completas.	2
Véase Cuadro 2.3	Corrección para el LKD	2, 3
1-3%	Error en la hipótesis de que el 100% de la fuente de carbonato proviene de la piedra caliza (en relación con otros suministros)	3
1-3%	Incetidumbre de los pesajes de materias primas en las plantas	3

Fuente: Basado en dictamen de expertos.

2.3.2.1 Incertidumbres del factor de emisión

Tal como se ha delineado más arriba para el cemento, existe una pequeña incertidumbre asociada con el componente del factor de emisión del método de Nivel 3. En el Nivel 2 y el Nivel 1, el cociente estequiométrico es un número exacto y por lo tanto, la incertidumbre del factor de emisión es la incertidumbre de la composición de la cal, en particular la de la parte de cal hidráulica (la incertidumbre del factor de emisión de la cal hidráulica es del 15 por ciento y la incertidumbre para otros tipos de cal es del 2 por ciento). Hay una incertidumbre asociada a la determinación del contenido de CaO y/o en CaO•MgO de la cal producida.

2.3.2.2 Incertidumbres en los datos de la actividad

Al basarse en la experiencia de recolección de datos sobre la cal, resulta probable que la incertidumbre para los datos de actividad sea muy superior a la de los factores de emisión (véase, más arriba, la Sección 2.3.1.4, Exhaustividad) La omisión de la producción de cal no comercial puede conducir a subestimaciones en el orden de magnitud. La corrección para la cal hidratada conduce generalmente a una incertidumbre adicional.

Como fuera descrito más arriba para el caso del CKD, existe una incertidumbre significativa asociada con la cuantificación de la masa del LKD producido y con el grado de calcinación (y por ende de las emisiones) del LKD. Puede suponerse que la incertidumbre asociada con la estimación del LKD es por lo menos igual o mayor que la incertidumbre asociada con el CKD.

Allí donde, en el Cuadro 2.5, se proponen intervalos para las incertidumbres por defecto, debe emplearse el intervalo medio, a menos que las estimaciones superiores o inferiores reflejen mejor las circunstancias específicas del país.

2.3.3 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

2.3.3.1 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)

Además de las orientaciones interdisciplinarias sobre GC/CC, se delinean a continuación los procedimientos específicos que son pertinentes para esta categoría de fuente.

COMPARACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE EMISIONES OBTENIDAS MEDIANTE LOS DIFERENTES MÉTODOS

Se pueden hacer comparaciones entre las emisiones estimadas según el método de Nivel 2, basado en la producción de cal, y el método de Nivel 3, basado en las entradas de carbonatos. De manera similar, si para estimar las emisiones se usa el método «de abajo hacia arriba» (es decir, recolección de datos específicos para las plantas), los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones de emisiones con las estimaciones calculadas mediante datos nacionales o específicos de la planta para la producción de cal (tratamiento «de arriba hacia abajo»). En los casos en los que se utiliza un método híbrido de Nivel 1/2 ó Nivel 2/3 durante un período de transición, se considera como una *buena práctica* estimar las emisiones para todas las instalaciones que utilizan el Nivel más bajo para comparar los resultados del análisis con los resultados derivados del empleo del método híbrido. Los resultados de tales comparaciones deben registrarse con fines de documentación interna, incluidas las explicaciones sobre cualquier discrepancia.

VERIFICACIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los compiladores del inventario deben confirmar las definiciones correctas de los diferentes tipos de cal producidos en el país. Los compiladores del inventario deben también considerar cuidadosamente las industrias que puedan producir cal no comercial, de modo que garanticen que estos datos han sido incluidos en los datos de actividad para el inventario.

2.3.3.2 Generación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales. A continuación se señalan algunas notas generales que se aplican a la declaración y documentación de las emisiones, así como a la reducción de emisiones provenientes de la producción de cal, seguidas de la información específica que debe ser declarada para cada nivel individual.

- Si un compilador declara bajo la Categoría 2H la recuperación de CO₂ de la refinación del azúcar, del precipitado de carbonato de calcio o del ablandamiento de aguas, debe proporcionar detalles sobre los métodos empleados para calcular las emisiones recuperadas. Tanto las emisiones como las reducciones de emisiones deben declararse por separado; no se considera como una *buena práctica* que se declaren solamente las emisiones netas de la producción de cal. Además, se debe proporcionar información para ilustrar que las reducciones de emisiones por recarbonización se declaran sólo para el año en que ocurre la recarbonización (véase más arriba, 2.3.1).
- Independientemente del método implementado, los compiladores deben documentar los procedimientos empleados para garantizar que tanto la producción de cal comercial como la no comercial han sido declaradas (véase el análisis en la Sección 2.3.1.4, Exhaustividad).

MÉTODO DE NIVEL 1

Desde un punto de vista metodológico, el tratamiento de Nivel 1 es el mismo que el de Nivel 2, salvo que, para estimar los diversos parámetros, admite el uso de valores por defecto en vez de información específica del país. Por lo tanto, la documentación para el Nivel 1 se desprende de la del Nivel 2, indicada a continuación, excepto que se debe indicar claramente dónde se aplican los valores por defecto.

MÉTODO DE NIVEL 2

La documentación de Nivel 2 debe incluir una discusión sobre los tipos de cal producidos en el país (incluida la cal hidratada) y sobre cómo se ha efectuado tal determinación (recolección de datos sobre ventas, recolección de

datos sobre el consumo específico de la planta, etc.) Deben explicarse también los procedimientos empleados para identificar el contenido de CaO y/o en CaO·MgO de la cal, así como los suministros no carbonatados al horno de cal.

MÉTODO DE NIVEL 3

Las declaraciones y la documentación para el Nivel 3 respecto de la producción de cal son los mismos que los del Nivel 3 para la producción de cemento, delineados más arriba, con una diferencia menor. En vez de recolectar información sobre el CKD, deben recolectarse los datos sobre la cantidad y fracción de calcinación alcanzados para el LKD. Toda información relacionada debe ser documentada y declarada; no se considera como una *buena práctica* simplemente declarar las estimaciones finales de las emisiones.

2.4 PRODUCCIÓN DE VIDRIO

2.4.1 Cuestiones metodológicas

En el comercio se utilizan muchas variedades de artículos y de composiciones de vidrio, pero la industria del vidrio puede dividirse en cuatro categorías principales: recipientes, vidrios planos (ventanas), fibras de vidrio y vidrios especiales.

La mayor parte del vidrio comercial se encuentra en las dos primeras categorías constituidas casi enteramente de vidrio de cal sodada, que está compuesto de sílice (SiO_2), sosa (Na_2O) y cal (CaO), con pequeñas cantidades de alúmina (Al_2O_3) y otros álcalis y tierras alcalinas, además de algunos ingredientes menores. La fibra de vidrio para el aislamiento térmico —un componente mayor de la tercera categoría— posee una composición similar. Los fabricantes individuales aplican composiciones propias patentadas, pero son variaciones menores de la composición básica.

Esta categoría de fuente incluye también las emisiones de la producción de lana de vidrio, una categoría de la lana mineral, donde el proceso de producción es similar al de la fabricación del vidrio. El término lana mineral puede emplearse también para referirse a las lanas basadas en rocas naturales o en escorias. Allí donde la producción de lana de roca produzca emisiones, éstas deben declararse bajo la Subcategoría 2A5 del IPPC. Las emisiones relacionadas con la producción de escoria deben declararse en la categoría de fuente metalúrgica pertinente. La refundición de la escoria para producir lana mineral no implica emisiones significativas relacionadas con el proceso y no necesita ser declarada.

Las principales materias primas del vidrio que emiten CO_2 durante el proceso de fundición son: la piedra caliza (CaCO_3), la dolomita $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$ y la ceniza de sosa (Na_2CO_3). Estos materiales, allí donde se extraen como carbonatos minerales para ser utilizados en la industria del vidrio, representan una producción primaria de CO_2 y deben incluirse en las estimaciones de emisiones. Los materiales carbonatados producidos a través de la carbonización de un hidróxido no producen emisiones netas de CO_2 y no deben incluirse en las estimaciones de emisiones. Las materias primas menores del vidrio que emiten CO_2 son el carbonato de bario (BaCO_3), la ceniza de hueso ($3\text{CaO}\cdot\text{P}_2\text{O}_5 + \text{XCaCO}_3$), carbonato de potasio (K_2CO_3) y el carbonato de estroncio (SrCO_3). Además, el carbón pulverizado de antracita y otros materiales orgánicos pueden agregarse para crear condiciones reductoras en el vidrio fundido, que se combinarán con el oxígeno disponible en el fundido de vidrio para producir CO_2 .

La acción de estos carbonatos en la fusión del vidrio constituye una reacción química compleja a altas temperaturas y no debe compararse directamente con la calcinación de carbonatos para producir cal viva o cal de dolomita quemada. Sin embargo, esta fusión (en la región de los 1500°C) tiene los mismos efectos netos desde el punto de vista de las emisiones de CO_2 .

En la práctica, los fabricantes de vidrio no producen vidrio sólo a partir de materias primas, sino que algunos emplean una cierta cantidad de chatarra de vidrio reciclada (o *cullet*, del inglés). La mayoría de las operaciones utilizan la mayor cantidad de *cullet* que se pueda obtener, lo que induce a veces restricciones en los requisitos de calidad del vidrio. La proporción de *cullet* (la fracción de la carga del horno representada por el *cullet*) se sitúa en el intervalo de 0,4 a 0,6 para las aplicaciones en la fabricación de recipientes, que constituye el grueso de la producción de vidrio. Los fabricantes de fibra de vidrio tienden, por lo general, a estar por debajo de este nivel, pero emplearán tanto *cullet* como puedan comprar.

El *cullet* proviene de dos fuentes: la recuperación in situ de vidrios rotos en el proceso u otros desperdicios o retenciones del vidrio y *cullet* exterior a la planta, proveniente de los programas de reciclaje del vidrio o de los servicios de corretaje del *cullet*. Esta segunda fuente es importante en las economías desarrolladas, pero será menor en los países en desarrollo donde la recuperación de objetos de vidrio está menos difundida.

Se ha determinado que la retención de CO₂ disuelto en el vidrio es relativamente insignificante y puede ser omitida para los fines de la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero.

2.4.1.1 Elección del método

MÉTODO DE NIVEL 1

Debe emplearse el método de Nivel 1 (Ecuación 2.10), donde no se disponga de datos sobre el vidrio fabricado por procesamiento de los carbonatos utilizados en la industria del vidrio. En el Nivel 1 se aplica un factor de emisión por defecto y una proporción de *cullet* por defecto a las estadísticas nacionales sobre producción de vidrio. La incertidumbre asociada a este método puede considerarse superior a la incertidumbre asociada a los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3.

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 2.10} \\ &\text{NIVEL 1: EMISIONES BASADAS EN LA PRODUCCIÓN DE VIDRIO} \\ &E_{\text{emisiones de CO}_2} = M_g \cdot EF \cdot (1 - CR) \end{aligned}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de vidrio, toneladas

M_g = masa del vidrio producido, toneladas

EF = factor de emisión por defecto para la fabricación del vidrio, toneladas de CO₂/toneladas de vidrio

CR = proporción de *cullet* para el proceso (promedio nacional o valor por defecto), fracción

MÉTODO DE NIVEL 2

El Nivel 2 es un refinamiento del Nivel 1. En vez de recolectar las estadísticas nacionales sobre la producción total de vidrio, las emisiones se estiman basándose en los distintos procesos de fabricación de vidrio empleados en el país. Tal como se analiza a continuación, los diferentes procesos de fabricación de vidrio (p. ej., vidrio flotado, vidrio de recipientes, fibra de vidrio, etc.) emplean generalmente diferentes tipos y proporciones de materias primas. En el método de Nivel 2 se aplican factores de emisión por defecto para cada proceso de fabricación de vidrio. Sin embargo, la estimación debe corregirse debido al hecho de que una parte del vidrio reciclado (*cullet*) puede suministrarse también al horno (Ecuación 2.11).

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 2.11} \\ &\text{NIVEL 2: EMISIONES BASADAS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL VIDRIO} \\ &E_{\text{emisiones de CO}_2} = \sum_i [M_{g,i} \cdot EF_i \cdot (1 - CR_i)] \end{aligned}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de vidrio, toneladas

M_{g,i} = masa de vidrio fundido de tipo *i* (p. ej., flotado, recipiente, fibra de vidrio, etc.), toneladas

EF_{*i*} = factor de emisión para la fabricación de vidrio del tipo *i*, toneladas de CO₂/toneladas de vidrio fundido

CR_{*i*} = proporción de *cullet* para la fabricación de vidrio del tipo *i*, fracción

MÉTODO DE NIVEL 3

La metodología de Nivel 3 está basada en la contabilización de la entrada de carbonato al horno de fundición de vidrio (Ecuación 2.12).

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 2.12} \\ &\text{NIVEL 3: EMISIONES BASADAS EN LAS ENTRADAS DE CARBONATOS} \\ &E_{\text{emisiones de CO}_2} = \sum_i (M_i \cdot EF_i \cdot F_i) \end{aligned}$$

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de la producción de vidrio, toneladas

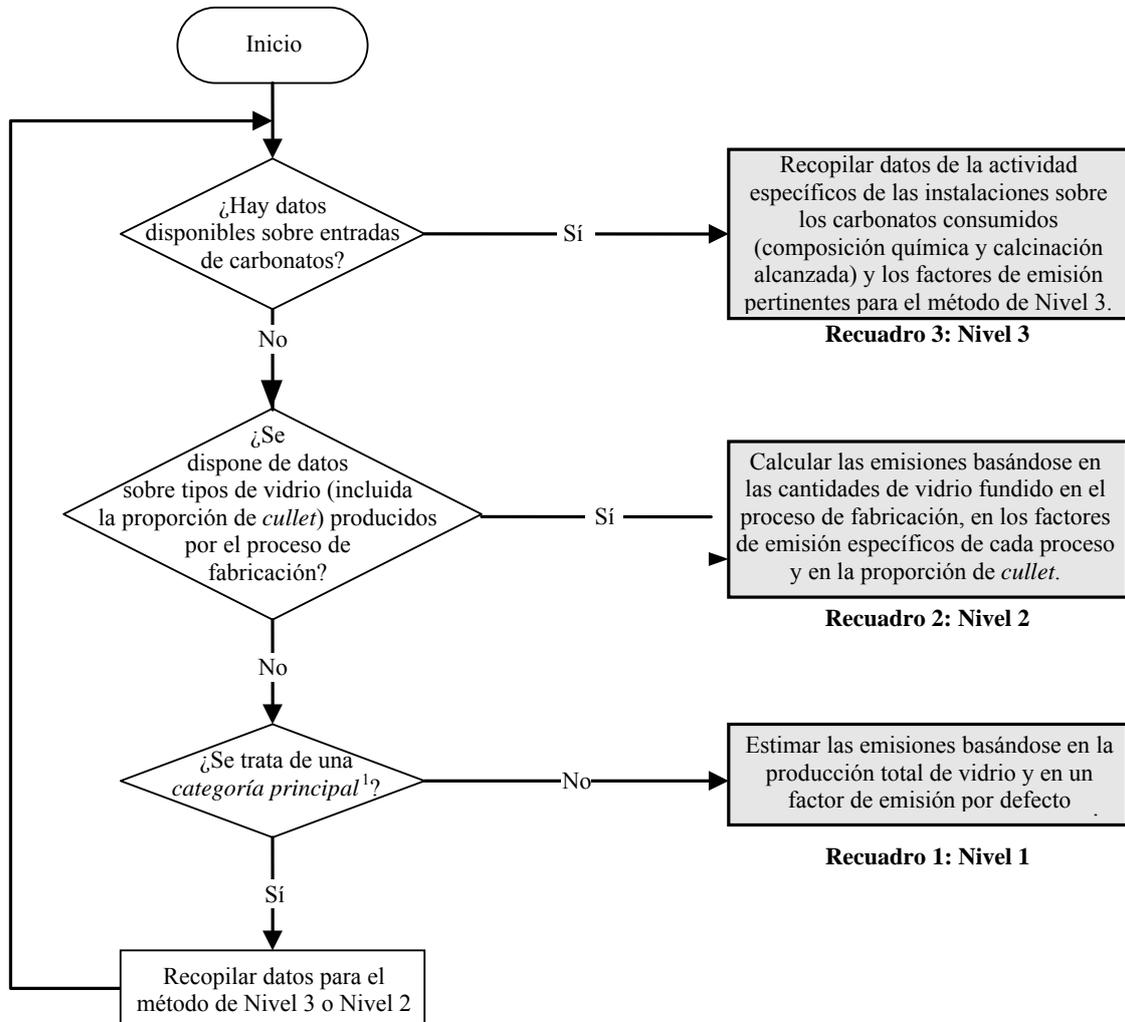
EF_i = factor de emisión para el carbonato en particular i , toneladas de CO_2 / toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

M_i = peso o masa del carbonato i consumido (extraído de la mina), toneladas

F_i = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato i , fracción

Cuando se desconozca la fracción de calcinación alcanzada para un carbonato en particular, puede suponerse que la fracción de calcinación es igual a 1,00.

Figura 2.3 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO_2 provenientes de la producción de vidrio**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

2.4.1.2 Elección de los factores de emisión

MÉTODO DE NIVEL 1

En el método de Nivel 1 se aplica un factor de emisión por defecto, basado en una mezcla «típica» de materias primas, a los datos sobre producción nacional de vidrio. Un lote «típico» de cal sodada puede estar compuesto de arena (56,2 por ciento del peso), feldespato (5,3 por ciento), dolomita (9,8 por ciento), piedra caliza (8,6 por ciento) y ceniza de sosa (20,0 por ciento). Basándose en esta composición, una tonelada métrica de materia prima rinde aproximadamente 0,84 toneladas de vidrio y pierde 16,7 por ciento de su peso en materias volátiles, en este caso, casi todo en forma de CO_2 .

ECUACIÓN 2.13**NIVEL 1: FACTOR DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE VIDRIO**

$$EF = 0,167 / 0,84 = 0,20 \text{ toneladas de CO}_2 / \text{toneladas de vidrio}$$

MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 se basa en la aplicación de factores de emisión por defecto y proporciones de *cullet* a los diferentes tipos de vidrio producidos en el país (Cuadro 2.6). Si hay de datos específicos del país o incluso de las plantas, se incita a los países a utilizar estos datos para completar o reemplazar los valores por defecto que se proponen a continuación. En particular, las proporciones de *cullet* pueden variar significativamente tanto dentro de un país como de un país a otro.

Es una *buena práctica* utilizar los valores medianos de los intervalos provistos a menos que se sepa que algunos otros valores dentro del intervalo son más representativos de las circunstancias específicas del país.

CUADRO 2.6		
FACTORES DE EMISIÓN Y PROPORCIONES DE CULLET POR DEFECTO PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE VIDRIO		
Tipo de vidrio	Factor de emisión de CO₂ (Kg de CO₂/Kg de vidrio)	Proporción de cullet (Intervalo típico)
Flotado	0,21	10% - 25%
Recipiente (Flint)	0,21	30% - 60%
Recipiente (ámbar/verde)	0,21	30% - 80%
Fibra de vidrio («E-glass»)	0,19	0% - 15%
Fibra de vidrio (aislamiento)	0,25	10% - 50%
Especial (pantalla de televisión)	0,18	20% - 75%
Especial (tubo de televisión)	0,13	20% - 70%
Especial (vajilla)	0,10	20% - 60%
Especial (laboratorio y/o farmacia)	0,03	30% - 75%
Especial (iluminación)	0,20	40% - 70%
Fuente: Comunicación con Victor Aume (2004)		

MÉTODO DE NIVEL 3

Los factores de emisión del Nivel 3 se basan en el contenido real de CO₂ de los carbonatos consumidos en el horno de fundición (para los cocientes estequiométricos pertinentes, véase el Cuadro 2.1). El método de Nivel 3 requiere la contabilización completa de los carbonatos (especies y fuentes).

2.4.1.3 Elección de los datos de la actividad**MÉTODO DE NIVEL 1**

Los datos de la actividad para el método de Nivel 1 incluyen las estadísticas nacionales sobre producción de vidrio por peso así como una corrección por cantidad de *cullet* utilizado en la producción de vidrio. En el Nivel 1 se supone una proporción de *cullet* por defecto de 50 por ciento y, por lo tanto, para estimar las emisiones nacionales, los datos de nivel nacional sobre la masa de vidrio producida puede multiplicarse por $0,20 \cdot (1 - 0,50) = 0,10$ toneladas de CO₂/toneladas de vidrio. Si se dispone de información específica del país para la proporción promedio anual de *cullet*, se insta a los países a modificar el factor de emisión en consecuencia [es decir, $EF = 0,20 \cdot (1 - \text{proporción de cullet específica del país})$].

MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 requiere, por lo menos, la recolección de datos de nivel nacional sobre la cantidad de vidrio que se funde en el proceso de fabricación. Los datos sobre el vidrio se expresan generalmente en unidades disímiles (p. ej., toneladas de vidrio, cantidad de botellas, metros cuadrados de vidrio, etc.), que deben convertirse en toneladas. Donde sea posible, los datos deben recolectarse sobre una base específica por planta y luego agregarse al nivel nacional. Aunque el método de Nivel 2 ofrece factores por defecto para la proporción de *cullet*, si se dispone de datos específicos del país o de las plantas, se insta a los países a recolectarlos.

MÉTODO DE NIVEL 3

Para el método de Nivel 3, deben recolectarse los datos de actividad de nivel de planta sobre los diferentes tipos de carbonatos consumidos en la producción de vidrio.

2.4.1.4 Exhaustividad

Al recolectar las estimaciones de emisiones para la producción de vidrio, los compiladores del inventario deben considerar una serie de cuestiones relacionadas con la exhaustividad. En primer lugar, que el vidrio se produce a partir de una variedad de materias primas carbonatadas. Cuando las emisiones se estimen basándose en las entradas de carbonatos (Nivel 3), es importante garantizar que todas las especies y fuentes de carbonatos estén incluidas en las estimaciones.

En muchos países, la ceniza de sosa es una entrada importante en la fabricación del vidrio. Se alienta a los compiladores del inventario a garantizar que no haya doble cómputo de emisiones para la ceniza de sosa utilizada en la fabricación del vidrio (que debe declararse bajo la Categoría 2A3, Producción de vidrio) y las emisiones de «Otros usos de la ceniza de sosa», que debe declararse separadamente a continuación. Sin embargo, es importante considerar que puede haber un cierto número de instalaciones más pequeñas (p. ej., de vidrio artesanal o de especialidad), que no son tomadas en cuenta en las estadísticas nacionales. Se debe desplegar esfuerzos para garantizar una cobertura completa de la industria.

2.4.1.5 Desarrollo de una serie temporal coherente

El vidrio puede ser una fuente que presente dificultades respecto de la obtención de datos, pues como ya se ha señalado anteriormente, la producción de vidrio se mide en una variedad de unidades. Para desarrollar una serie temporal coherente, es importante que en el Inventario se utilicen las mismas fuentes de datos para todos los años. Para mayor información sobre cómo garantizar la coherencia de la serie temporal, véase el Volumen 1, Capítulo 5.

2.4.2 Evaluación de incertidumbre

2.4.2.1 Incertidumbres del factor de emisión

De manera similar al caso del cemento y la cal, cuando las emisiones de la producción de vidrio se estiman basándose en las entradas de carbonatos (Nivel 3), la incertidumbre del factor de emisión (1 a 3 por ciento) es relativamente baja pues el factor de emisión depende del cociente estequiométrico. Puede haber algo de incertidumbre (1 por ciento) asociada a la hipótesis de que la calcinación de los carbonatos en las entradas es del 100 por ciento.

Debido a que las emisiones se estiman basándose en la cantidad de vidrio fundido de cada proceso de fabricación y en factores de emisión por defecto, la incertidumbre del Nivel 2 es mayor que la del Nivel 3. Es previsible que los factores de emisión tengan una incertidumbre de +/- 10 por ciento. Tal como se ilustra en el Cuadro 2.6, el intervalo típico para la proporción de *cullet* varía entre los diferentes tipos de vidrio. Para los efectos del análisis de incertidumbre se puede suponer que el «intervalo típico» refleja el intervalo de confianza de 95 por ciento.

La incertidumbre asociada al uso del factor de emisión y de la proporción de *cullet* del Nivel 1 es sustancialmente superior y puede alcanzar el orden de un +/- 60 por ciento.

2.4.2.2 Incertidumbres en los datos de la actividad

Tal como para la producción de cemento y de cal, bajo el método de Nivel 3, la incertidumbre asociada al pesaje o a las proporciones de las materias primas es aproximadamente del 1 al 3 por ciento. Si bien es posible que

algunas materias primas carbonatadas puedan entrar en la instalación, pero perderse bajo la forma de polvos (es decir, sin ser jamás calcinadas), se supone que esta cantidad es insignificante.

En el Nivel 1 y el Nivel 2, los datos sobre producción de vidrio se miden generalmente con una buena exactitud (+/-5 por ciento). Tal como se ha señalado anteriormente, los compiladores del inventario deben ser cautos cuando los datos de la actividad disponibles no estén expresados como masa, sino como unidad (p. ej., la botella) o en área (p. ej., el m²). Si los datos de la actividad deben ser convertidos en unidades de masa, esto puede generar una incertidumbre adicional.

2.4.3 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

2.4.3.1 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)

Si se estiman las emisiones empleando el método de Nivel 3, los resultados pueden compararse con los resultados del método de Nivel 2 para ver si poseen un orden de magnitud similar. Análogamente, si se han estimado las emisiones a partir de datos «de arriba hacia abajo» mediante el método de Nivel 2, pueden compararse estos resultados con los del método más riguroso de Nivel 3 en una pequeña cantidad de instalaciones para ver si los valores por defecto utilizados en el Nivel 2 reflejan las circunstancias nacionales. El método de Nivel 2 descansa en la estimación de emisiones basada en los diferentes tipos de vidrio producidos. Estas estimaciones pueden compararse con los resultados de una auditoría de los diversos proveedores de materias primas para la industria del vidrio. Por ejemplo, pueden compararse las estimaciones nacionales con las estimaciones sobre la cantidad de piedra caliza, de ceniza de sosa y de otros carbonatos que se venden a las industrias de vidrio. Tales datos comerciales pueden obtenerse de cada proveedor o de las asociaciones comerciales.

Una de las fuentes mayores de incertidumbre en la estimación de emisiones (Nivel 1 y Nivel 2) para la producción de vidrio es la proporción de *cullet*. La cantidad de vidrio reciclado utilizado puede variar en las distintas instalaciones de un país y en la misma instalación a través del tiempo. El tema de la proporción de *cullet* se perfila como un buen candidato para una investigación más profunda.

2.4.3.2 Generación de informes y documentación

NIVEL 1

Para el Nivel 1, los datos deben documentarse y declararse para indicar la cantidad total de vidrio producido y el factor de emisión aplicado para estimar las emisiones (incluida la indicación sobre el empleo de una proporción de *cullet* por defecto o específica del país) Debe documentarse el proceso de recolección de los datos de la actividad (es decir, si las estimaciones son nacionales o al nivel de planta) así como deben documentarse todos los cálculos realizados para convertir la producción de vidrio a una unidad común (p. ej., el kg).

NIVEL 2

La documentación de Nivel 2 debe incluir la cantidad de vidrio fundido en cada proceso de fabricación delineado en el Cuadro 2.6, incluido todo cálculo necesario para convertir los diferentes tipos de vidrio a las mismas unidades (p. ej., la conversión de botellas en kilogramos). Deben declararse los factores de emisión por tipo de vidrio y por proporción de *cullet*, indicando si se han utilizado valores por defecto y si los datos fueron recolectados al nivel de planta o al nivel nacional. Es también útil declarar si el *cullet* es de generación interna en la instalación o es un *cullet* de origen posterior al consumo (es decir, *cullet* comprado) Esta información puede ser útil para identificar o verificar las actividades mitigadoras basadas en el reciclado.

NIVEL 3

El inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias sobre las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones resulten transparentes y que puedan reproducirse las etapas del cálculo. Allí donde se implemente el método de Nivel 3, los compiladores del inventario deben documentar las especies de carbonatos consumidos e indicar cómo garantizan que todas las entradas de carbonatos han sido tomadas en cuenta (véase el análisis para el Nivel 3 en la Sección 2.2.3.2).

2.5 OTROS USOS DE CARBONATOS EN LOS PROCESOS

2.5.1 Cuestiones metodológicas

La piedra caliza (CaCO_3), la dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y otros carbonatos (p. ej., MgCO_3 y FeCO_3) son materias primas básicas que tienen aplicaciones comerciales en numerosas industrias. Además de las industrias ya analizadas individualmente (producción de cemento, producción de cal y producción de vidrio), los carbonatos también se consumen en la metalurgia (p. ej., el hierro y el acero), en la agricultura, en la construcción y en el control de la contaminación ambiental (p. ej., en los sistemas de desulfuración de gases de combustión por vía húmeda). Tal como se ha señalado en la introducción de este capítulo, la calcinación de los carbonatos a altas temperaturas produce CO_2 (Cuadro 2.1). Nótese que ciertos usos de carbonatos, por ejemplo, el uso de la piedra caliza como agregado, no produce la liberación de CO_2 y, por lo tanto, no necesita ser incluido en el inventario nacional sobre gases de efecto invernadero (véase Cuadro 2.7).

La exposición que sigue proporciona las metodologías generales para estimar las emisiones de CO_2 provenientes del uso de carbonatos en las industrias de los minerales. Sin embargo, estas metodologías son aplicables también allí donde los carbonatos se usan en otras categorías de fuente como fundentes o como agentes de escoriación. Se sugiere a los compiladores del inventario que consideren, en particular, cuatro amplias categorías de fuente: (1) las cerámicas, (2) otros usos de la ceniza de sosa, (3) la producción de magnesia no metalúrgica, y (4) otros usos de los carbonatos.

Es una *buena práctica* declarar las emisiones del consumo de carbonatos en la categoría de fuente donde se consume el carbonato y se emite el CO_2 . De este modo, cuando se usa la piedra caliza para el encalado de suelos, las emisiones deben declararse en la categoría de fuente respectiva del Sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU). Si se usan los carbonatos como fundentes o agentes de escoriación (p. ej., en el hierro y acero, en los productos químicos o en el control de la contaminación medioambiental, etc.) las emisiones deben declararse en la categoría de fuente respectiva donde se consume el carbonato. Tal como se ha discutido anteriormente en la Sección 2.3.1.1, toda la producción comercial y no comercial de cal debe declararse bajo Producción de cal. Las categorías de fuente específicas que se discuten a continuación (cerámicas, otros usos de la ceniza de sosa y producción de magnesia no metalúrgica) deben declararse dentro de la categoría de los minerales. La categoría Otros debe contener estimaciones de emisiones que no entran dentro de ninguna de las grandes categorías presentadas más abajo, en el Cuadro 2.7.

CERÁMICAS

Las cerámicas incluyen la producción de ladrillos y tejas, tuberías de arcilla vitrificada, productos refractarios, productos de arcilla expandida, azulejos y cerámica para el piso, vajillas y ornamentos cerámicos, sanitarios, cerámicas técnicas y abrasivos inorgánicos. Las emisiones relacionadas con los procesos de las cerámicas provienen de la calcinación de los carbonatos contenidos en la arcilla, así como de la inclusión de aditivos. De manera análoga a los procesos de producción del cemento y de la cal, los carbonatos se calientan a altas temperaturas en un horno, lo que produce óxidos y CO_2 . La mayoría de los productos cerámicos se fabrican a partir de uno o más tipos de arcilla (p. ej., esquistos, arcilla refractaria y arcilla plástica). Las materias primas son recogidas y finamente trituradas en operaciones de molienda sucesivas. Las partículas molidas se cuecen luego en un horno para producir un polvo (que puede licuarse). A continuación se agregan aditivos y se le da forma o se moldea, se labra y pule la cerámica en un torno para eliminar rugosidades y lograr las características deseadas. En el caso de las cerámicas tradicionales, éstas se ponen a secar y vidriar antes de cocerlas en el horno. Después del cocido, algunas cerámicas pueden ser sometidas a tratamientos adicionales para obtener la calidad final deseada.

Las emisiones de CO_2 son el resultado de la calcinación de las materias primas (particularmente de la arcilla, de los esquistos, de la piedra caliza, de la dolomita y de la witherita o carbonato de bario y de la piedra caliza como fundentes).

OTROS USOS DE LA CENIZA DE SOSA

La ceniza de sosa es utilizada en una variedad de aplicaciones, incluidas la producción de vidrio, de jabones y de detergentes, la desulfuración de gases de combustión por vía húmeda; los productos químicos; la pulpa y el papel y otros productos de consumo común. Tanto la producción como el consumo de la ceniza de sosa (incluido el carbonato de sodio, Na_2CO_3) producen la liberación de CO_2 . Las emisiones de la producción de ceniza de sosa se declaran en la Industria química, mientras que las emisiones provenientes de su uso se declaran en los respectivos sectores de uso final donde la ceniza de sosa es utilizada. Ya se han tomado en cuenta, más arriba, las emisiones de la ceniza de sosa utilizada en la producción de vidrio. Análogamente, donde se use la ceniza de

sosa en otras categorías de fuente tales como los productos químicos, deben declararse las emisiones en esas categorías de fuente.

PRODUCCIÓN DE MAGNESIA NO METALÚRGICA

En esta categoría de fuente deben incluirse las emisiones de la producción de magnesio (MgO) que no están incluidas en otras categorías. Por ejemplo, si se produce magnesio para usarla como fertilizante, la *buen práctica* es declarar esas emisiones bajo la sección apropiada del Capítulo 3, Emisiones de la industria química.

La magnesita (MgCO₃) es una de las entradas más importantes en la producción de magnesio y en la producción última de magnesio fundido. Existen tres grandes categorías de productos de magnesio: magnesio calcinado, magnesio sinterizado (periclasa) y magnesio fundido. La magnesio calcinado se emplea en muchas aplicaciones agrícolas e industriales (p. ej., suplementos alimenticios para el ganado, fertilizantes, aislamientos eléctricos y desulfuración de gases de combustión por vía húmeda). La magnesio sinterizado se utiliza predominantemente para aplicaciones refractarias, mientras que la magnesio fundido se emplea en los mercados de los productos refractarios y de los aisladores eléctricos.

La magnesio se produce por calcinación del MgCO₃, lo cual produce la liberación de CO₂ (Cuadro 2.1). Generalmente, entre un 96 y un 98 por ciento del CO₂ contenido es liberado en la producción de magnesio calcinado, con cerca del 100 por ciento del CO₂ que se libera durante el calentamiento adicional para producir magnesio sinterizado. La producción de magnesio fundido produce también una liberación de CO₂ cercana al 100 por ciento.

OTROS

Las emisiones pueden resultar de una serie de otras categorías de fuente que no se incluyen en lo anterior. Al asignar las emisiones a esta categoría de fuente, los compiladores del inventario deben tener cuidado de no contabilizar dos veces las emisiones ya registradas en otras categorías de fuente.

2.5.1.1 Elección del método

Existen dos metodologías principales para estimar las emisiones del uso de carbonatos para estas categorías de fuente. En el método de Nivel 1 se supone que sólo la piedra caliza y la dolomita se usan como entradas de carbonatos en la industria y se permite el empleo de una fracción por defecto de piedra caliza en contraposición a la dolomita consumida. El Nivel 2 es igual que el Nivel 1, excepto que la fracción de piedra caliza y de dolomita debe determinarse a partir de información específica del país. El método de Nivel 3 se basa en un análisis de todos los usos de carbonatos que producen emisiones.

Es posible que el Nivel 3 pueda usarse para algunas subcategorías y el método de Nivel 1 y 2 para otras categorías que presentan una disponibilidad limitada de datos. Semejante método híbrido es coherente con las *buenas prácticas*. La selección del método depende de las circunstancias nacionales.

MÉTODO DE NIVEL 1

El método de Nivel 1 se basa en la Ecuación 2.14.

<p>ECUACIÓN 2.14</p> <p>NIVEL 1: EMISIONES BASADAS EN LA MASA DE LOS CARBONATOS CONSUMIDOS</p> $\text{Emisiones de CO}_2 = M_c \cdot (0,85 EF_{1s} + 0,15 EF_d)$
--

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente otros usos de carbonatos en los procesos, toneladas

M_c = masa del carbonato producido, toneladas

EF_{1s} o EF_d = factor de emisión para la calcinación de la piedra caliza o de la dolomita, toneladas de CO₂/ toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

Se sugiere que los compiladores del inventario garanticen que los datos sobre los carbonatos reflejen carbonatos puros y no las rocas carbonatadas. Si sólo se dispone de datos sobre las rocas carbonatadas, se puede suponer una pureza por defecto del 95 por ciento. Si no se dispone de otra información, para las arcillas se puede suponer un contenido de carbonato por defecto del 10 por ciento ⁴.

⁴ EU-BREF (2005) informa de un intervalo de contenido de carbonatos en las arcillas pertinentes para la industria de las cerámicas que va del 0% hasta más del 30%.

La ceniza de sosa es esencialmente carbonato de sodio, no piedra caliza ni dolomita. Por ello, el método de Nivel 1 para la ceniza de sosa no requiere la fracción por defecto de 85/15 por ciento. Las emisiones se estiman mediante la multiplicación de la cantidad de ceniza de sosa consumida al nivel nacional por el factor de emisión por defecto del carbonato de sodio (véase Cuadro 2.1).

MÉTODO DE NIVEL 2

Bajo el Nivel 2, la cantidad de CO₂ emitido por el uso de la piedra caliza y de la dolomita se estima a partir de una consideración de consumo y de la estequiometría del proceso químico. En el Nivel 2 se usa una ecuación similar a la del Nivel 1, pero el Nivel 2 requiere datos nacionales sobre la cantidad de piedra caliza y de dolomita consumida en el país (Ecuación 2.15). No es una *buena práctica* usar un valor por defecto para asignar la proporción relativa de estos dos carbonatos primarios.

ECUACIÓN 2.15
NIVEL 2: MÉTODO PARA OTROS USOS DE LOS CARBONATOS EN LOS PROCESOS
Emisiones de CO₂ = (M_{ls} • EF_{ls}) + (M_d • EF_d)

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de otros usos de carbonatos en los procesos, toneladas

M_{ls} o M_d = masa de piedra caliza o dolomita respectivamente (consumo), toneladas (Respecto de la pureza, refiérase a la Ecuación anterior 2.14)

EF_{ls} o EF_d = factor de emisión para la calcinación de la piedra caliza o de la dolomita respectivamente, toneladas de CO₂/ toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

EL MÉTODO DE NIVEL 3

La metodología del Nivel 3 es similar al método delineado anteriormente para el cemento, pero no hay necesidad de corregir para el polvo ni para otras entradas de materias primas (Ecuación 2.16). Tal como se ha señalado anteriormente, donde sea que se use este método, es importante que todas las entradas de carbonatos sean consideradas en el análisis.

ECUACIÓN 2.16
NIVEL 3: MÉTODO DE LAS ENTRADAS DE CARBONATO PARA OTROS USOS DE LOS CARBONATOS EN LOS PROCESOS
Emisiones de CO₂ = ∑_i (M_i • EF_i • F_i)

Donde:

Emisiones de CO₂ = emisiones de CO₂ proveniente de otros usos de carbonatos en los procesos, toneladas

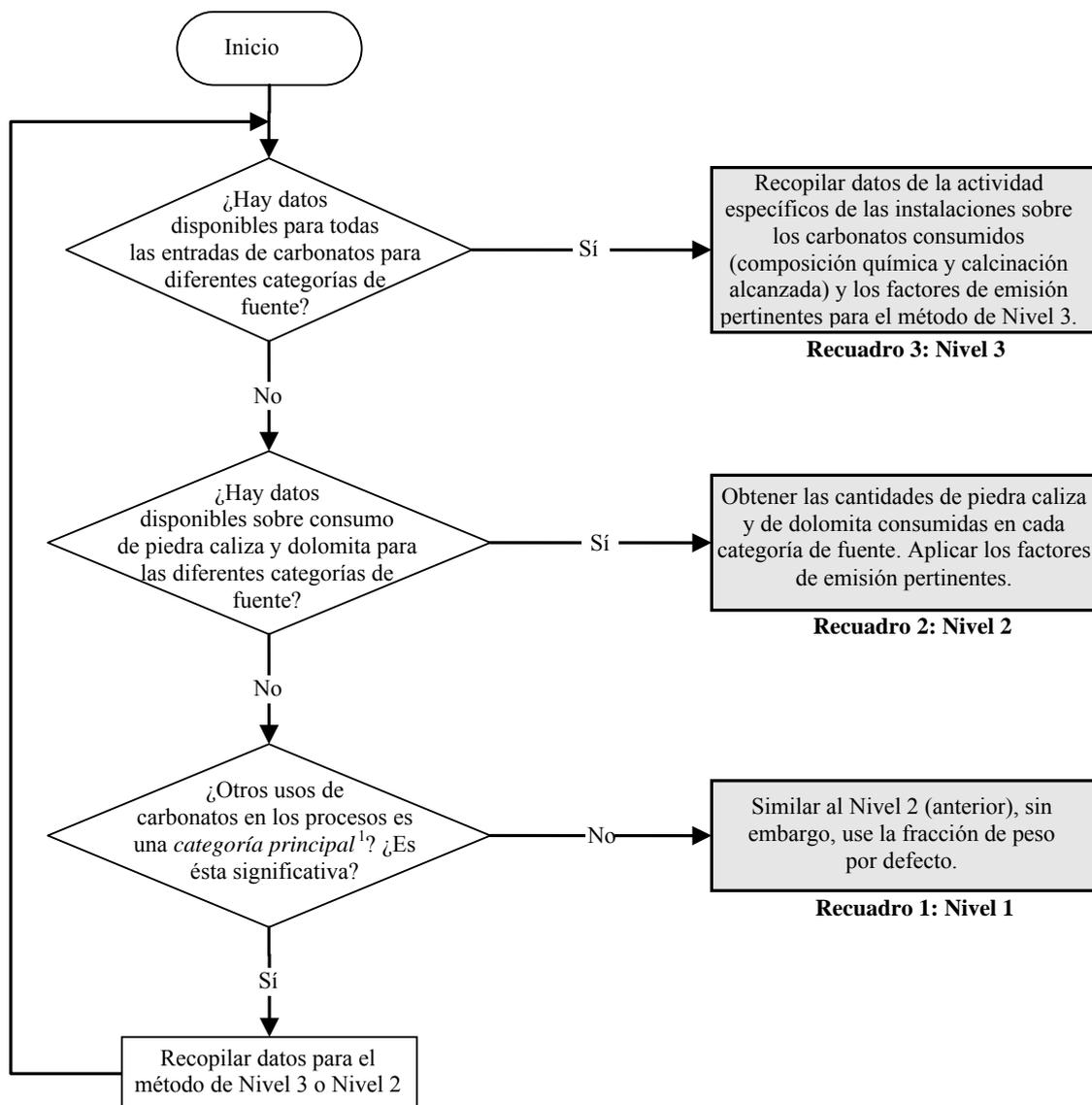
M_i = masa del carbonato *i* consumido, toneladas (refiérase a la Ecuación anterior 2.14, respecto de la pureza)

EF_i factor de emisión para el carbonato *i*, toneladas de CO₂/ toneladas de carbonato (véase Cuadro 2.1)

F_i = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato particular *i*, fracción Cuando se desconozca la fracción de calcinación alcanzada para un carbonato en particular, puede suponerse que la fracción de calcinación es igual a 1,00.

i = uno de los usos de carbonatos

Figura 2.4 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de otros usos de los carbonatos en los procesos**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

2.5.1.2 Elección de los factores de emisión

NIVEL 1 Y NIVEL 2

El factor de emisión para las metodologías de Nivel 1 y de Nivel 2 se basa en la masa de CO₂ liberado por masa de carbonato consumido (véase Cuadro 2.1). La distinción entre el Nivel 1 y el Nivel 2 se da en los datos de actividad.

NIVEL 3

El factor de emisión del Nivel 3 representa el promedio ponderado de los factores de emisión de los carbonatos individuales (véase Cuadro 2.1). El método de Nivel 3 requiere el cómputo completo de los carbonatos (especies y fuentes).

2.5.1.3 Elección de los datos de la actividad

NIVEL 1

En el método de Nivel 1, el compilador del inventario debe recolectar los datos de actividad para el consumo total de carbonatos para usos que producen emisiones (véase Cuadro 2.7 para los usos de carbonatos que generan emisiones). A falta de mejores datos, es coherente con las *buenas prácticas* que los compiladores del inventario supongan que un 85 por ciento de los carbonatos consumidos sean de la piedra caliza y que 15 por ciento sean de la dolomita. Para el uso de la ceniza de sosa, el compilador del inventario debe recolectar datos nacionales o de nivel de planta sobre la cantidad total de ceniza de sosa utilizada. Para las arcillas empleadas en la industria de las cerámicas, el compilador del inventario debe recolectar datos de producción nacionales para las tejas, las tuberías de arcilla vitrificada y productos refractarios y calcular la cantidad de arcilla consumida multiplicando la producción por un factor de pérdidas por defecto de 1,1.

NIVEL 2

Se considera como una *buen práctica* recopilar datos de la actividad para ilustrar la cantidad total de carbonatos consumidos en cada sector de uso final. Si no se dispone de datos específicos para identificar los diferentes carbonatos consumidos en estos sectores de uso final, es una *buen práctica* recolectar datos de actividad de nivel nacional sobre la piedra caliza y la dolomita consumidas. Análogamente al método de Nivel 1, si se desconoce la fracción de calcinación alcanzada, es coherente con las *buenas prácticas* que el compilador del inventario suponga que se alcanza un 100 por ciento de calcinación. Los compiladores del inventario deben ser cautos y no suponer que toda la piedra caliza ni toda la dolomita consumida en el país resultan en la liberación de emisiones de CO₂. Por ejemplo, la piedra caliza y la dolomita se emplean a menudo como agregados en una serie de procesos y este uso de la piedra triturada no genera emisiones (Cuadro 2.7).

NIVEL 3

El método de mayor exactitud consiste en recopilar datos de actividad sobre el consumo de carbonatos por uso final. La *buen práctica* es recopilar datos específicos de la planta sobre los carbonatos consumidos para esa categoría de fuente y para la fracción de calcinación alcanzada para los carbonatos. Se supone que el consumo de carbonatos es igual a la materia prima extraída (o dragada), más la materia prima importada, menos la materia exportada. Cuando se desconozca la fracción de calcinación alcanzada, es coherente con las *buenas prácticas* que el compilador del inventario suponga que se alcanza un 100 por ciento de calcinación. Para el caso del uso de arcilla en la industria de las cerámicas, el compilador del inventario debe recolectar datos sobre el consumo de arcilla para todos los productos cerámicos pertinentes.

2.5.1.4 Exhaustividad

La exhaustividad presenta un particular desafío en relación con las industrias que consumen (y calcinan) carbonatos, pues existe un potencial tanto de estimación insuficiente como de sobreestimación. Como se ha señalado a lo largo de este capítulo, cuando un método se basa en las entradas de carbonatos, se posibilita un potencial de estimación insuficiente de la cantidad total de carbonatos consumidos. En el caso otros usos de carbonatos en los procesos el método de Nivel 3 para debe aplicarse como tal sólo al nivel de planta.

Existe también la posibilidad del cómputo doble. Los compiladores del inventario deben considerar cuidadosamente cómo fueron desarrolladas las estadísticas nacionales sobre la piedra caliza, la dolomita y otros usos de los carbonatos. Por ejemplo, una fuente de datos para la industria del hierro y del acero puede contener las cantidades totales de piedra caliza consumida como fundente, particularmente en la medida de que las emisiones formaban parte del gas de alto horno u otro gas combustible que fueron incluidas en las emisiones de la quema de combustibles del sector pertinente. A un nivel nacional, se deben examinar cuidadosamente las estadísticas sobre piedra caliza para determinar si los datos contienen también el consumo de piedra caliza en la industria del hierro y del acero.

A menudo, las estadísticas nacionales sobre la piedra caliza, la dolomita y otros usos de carbonatos contienen categorías tales como «otros usos no especificados». Los compiladores del inventario deben ser cautos y considerar si estos consumos no han sido contabilizados ya para otras fuentes.

En estas *Directrices* se identifican separadamente dos categorías (Otros usos de la ceniza de sosa y Producción de magnesita no metalúrgica) que son productos intermedios empleados en una variedad de otras categorías de fuente. En particular, la ceniza de sosa se utiliza en una variedad de industrias tales como la producción de vidrio, de jabones y de detergentes. Se sugiere que los compiladores del inventario revisen cuidadosamente las estadísticas para esas categorías de fuente con el fin de garantizar que no ha ocurrido ningún doble cómputo. Por ejemplo, si se usa ceniza de sosa para la producción de vidrio, las emisiones deben declararse en esa categoría. Si

se usa la ceniza de sosa en otra industria, las emisiones deben declararse en la industria pertinente. Si se usa la ceniza de sosa en otra industria de los minerales o donde la información no sea suficiente para determinar dónde ha sido consumida, entonces las emisiones deben declararse en la Categoría 2A4b, Otros usos de la ceniza de sosa.

En el Cuadro 2.7 se realzan algunas preguntas que los compiladores del inventario pueden formularse a sí mismos como una manera de ayudarse en la tarea de garantizar que estas emisiones sean atribuidas apropiadamente, y que no sean ni subestimadas ni sobreestimadas.

CUADRO 2.7		
USOS DE LOS CARBONATOS QUE GENERAN Y QUE NO GENERAN EMISIONES		
¿Dónde se consumen los carbonatos?	¿La fuente genera emisiones?	En el caso afirmativo, ¿dónde deben declararse las emisiones?
<i>Agrícola:</i>		
Piedra caliza agrícola	Sí*	AFOLU: 3C2 Encalado
Granos para aves y piensos minerales	No	
Otros usos agrícolas	No	
<i>Química y metalúrgica:</i>		
Fabricación de cemento	Sí	IPPU: 2A1 Producción de cemento
Fabricación de cal	Sí	IPPU: 2A2 Producción de cal
Sinterización de la dolomita	Sí	IPPU: 2A2 Producción de cal, donde es sinterizada; fuera de la industria de la cal bajo Otros (2A4d).
Piedra fundente	Sí	IPPU: 2C Industria de los metales, industria donde se consume; a menos que sea contabilizada dentro de Energía (para descargas gaseosas combustibles vendidas fuera de la instalación)
Piedra química	Sí**	Categoría de fuente donde se consume
Fabricación del vidrio	Sí	IPPU: 2A3 Producción de vidrio
Eliminación del óxido de azufre	Sí*	Categoría de fuente donde se consume
Fertilizantes	Sí**	IPPU: 2B Industria química
<i>Cerámicas y lanas minerales:</i>		
Cerámicas	Sí	IPPU: Industria de los minerales: 2A4a: Cerámicas
Lanas minerales	Sí	IPPU: Industria de los minerales: 2A3 Producción de vidrio o 2A4d Otros, según el proceso de producción.
<i>Especial:</i>		
Polvo inerte para minas y tratamiento de aguas	Sí*	Categoría de fuente donde se consume
Rellenos o saturadores de asfalto	No	
Agente blanqueador o sustituto	No	
Otros rellenos o saturadores	No	
<i>Construcción:</i>		
Uso como agregado fino o grueso	No	

CUADRO 2.7 (CONTINUACIÓN)		
USOS DE LOS CARBONATOS QUE GENERAN Y QUE NO GENERAN EMISIONES		
Producción	¿La fuente genera emisiones?	En el caso afirmativo, ¿dónde deben declararse las emisiones?
<i>Otros usos varios:</i>		
Piedra refractaria	No	
Neutralización de ácidos	Sí*	Categoría de fuente donde se consume
Productos químicos	No	
Fabricación de papel	No	
Abrasivos	No	
Refinación del azúcar	Sí	IPPU: Las emisiones de la producción de cal en los ingenios azucareros deben declararse bajo 2A2 Producción de cal; todas las demás emisiones en 2A4 Otros usos de carbonatos en los procesos. Las absorciones deben declararse bajo 2H2 Industria de la alimentación y la bebida.
<i>Otros</i>	Sí*, No	Donde sea afirmativo, IPPU: 2A4 Otros usos de carbonatos en los procesos
* Las emisiones resultan de una reacción de acidificación.		
** Las emisiones pueden resultar de la calcinación y/o de la acidificación.		

2.5.1.5 Desarrollo de una serie temporal coherente

En esencia, estas *Directrices* tratan del consumo de piedra caliza, de dolomita y de otros usos de los carbonatos de una manera diferente que en los documentos anteriores de *Directrices* del IPPC. Las orientaciones anteriores sugerían que, a excepción del caso de la piedra caliza y de la dolomita consumidas en la producción de cemento, en la producción de cal y en el encalado de suelos agrícolas, todo consumo de piedra caliza y dolomita debía declararse bajo la categoría de fuente Uso de piedra caliza y de dolomita.

En las *Directrices de 2006*, las emisiones de otros usos de los carbonatos en los procesos deben declararse en la categoría de fuente donde se consumen los carbonatos, y como consecuencia, las emisiones quedarán declaradas en el sector donde son emitidas. Este cambio requiere de cálculos para garantizar la coherencia de las series temporales para la categoría de fuente Otros usos de los carbonatos en los procesos en la Industria de los minerales y también en otras categorías de fuente donde se consumen carbonatos.

Hay varios medios que los compiladores del inventario pueden usar para ayudar a garantizar la coherencia de la serie temporal: Es una *buena práctica* que, de acuerdo con el Volumen 1, Capítulo 5, el compilador del inventario consideren lo siguiente:

- Si se dispone de datos para completar el método de Nivel 3 (o del Nivel 2) para todos los años, éste debe aplicarse;
- Si sólo se dispone de datos para algunos años, los años intermedios pueden estimarse por interpolación o extrapolación de las líneas de tendencia;
- Si se dispone de datos de niveles desagregados sobre otros usos de carbonatos en los procesos, pero sólo para el año más reciente, el compilador del inventario puede optar por aplicar la proporción de carbonatos consumidos en cada industria para el año más reciente, a las tendencias de producción de las respectivas industrias, de manera análoga a la del Método sustituto delineado en el Volumen 1, Sección 5.3. Sin embargo, los compiladores del inventario deben ser cautos al utilizar este método y considerar si existen circunstancias nacionales que puedan haber conducido a un uso mayor de fundentes o de agentes de escorificación en algunas industrias durante el periodo considerado.

2.5.2 Evaluación de incertidumbre

2.5.2.1 Incertidumbres del factor de emisión

En teoría, la incertidumbre asociada al factor de emisión para esta categoría de fuente debería ser relativamente baja, puesto que el factor de emisión corresponde al cociente estequiométrico que refleja el CO₂ liberado durante la calcinación del carbonato. En la práctica, hay incertidumbres debidas, en parte, a las variaciones en la composición química de la piedra caliza y otros carbonatos. Por ejemplo, además del carbonato de calcio, la piedra caliza contiene cantidades más pequeñas de magnesia, sílice y azufre. Suponiendo que los datos de actividad son recolectados correctamente, y por ende que se aplica el factor de emisión correcto, habrá una incertidumbre insignificante asociada al factor de emisión. En los casos en que sólo se disponga de datos sobre la roca carbonatada, puede haber algo de incertidumbre asociada a la hipótesis de una cierta pureza para la fracción de piedra caliza y de dolomita (± 1 a ± 5 por ciento).

2.5.2.2 Incertidumbres en los datos de la actividad

Las incertidumbres en los datos de la actividad son mayores que las incertidumbres asociadas a los factores de emisión. Al suponer que el consumo de carbonatos se atribuye a los sectores y/o industrias consumidoras apropiadas, la incertidumbre asociada al pesaje o a las proporciones de carbonatos, para toda industria considerada, es de un 1 a un 3 por ciento. La incertidumbre del análisis químico global en relación con el contenido y la identidad de los carbonatos, también es de un 1 a un 3 por ciento. La incertidumbre asociada al empleo de los métodos de Nivel 1 y de Nivel 2, incluida la hipótesis de una repartición de piedra caliza y de dolomita de un 85/15 por ciento, varía según las circunstancias del país.

Los datos de la actividad para el uso de la piedra caliza y de la dolomita pueden ser muy difíciles de recopilar pues existe una variedad de usos en diferentes industrias, algunas de las cuales producen emisiones y otras no. Las estadísticas nacionales pueden incluir una categoría de uso final «otros usos no especificados» (o bien otra categoría similar) y puede resultar difícil atribuir los «otros usos no especificados» al sector de consumo apropiado. Donde no se puedan identificar correctamente todos los usos, aumenta la incertidumbre.

2.5.3 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

2.5.3.1 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)

COMPARACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE EMISIONES OBTENIDAS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS

Las estimaciones de emisiones derivadas de cualquier Nivel pueden compararse con las de otros Niveles, aun cuando el método del Nivel 3 pueda estar dando cuenta de especies de carbonatos adicionales no incluidas en los análisis de Nivel 1 ni de Nivel 2. Si se supone que la misma fracción de calcinación alcanzada se emplea para todos los Niveles, las emisiones estimadas con los métodos respectivos serán probablemente similares en magnitud, si se considera que la piedra caliza y la dolomita tienden a contribuir con el mayor porcentaje de emisiones para estas fuentes.

VERIFICACIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Dado que la piedra caliza, la dolomita y otros carbonatos se consumen en una variedad de industrias, puede que haya una cantidad de fuentes de datos diferentes disponibles que contengan información sobre el consumo de carbonatos en las industrias respectivas. Por ejemplo, los datos para el consumo de piedra caliza en varias instalaciones de la industria del hierro y del acero podrían compararse para ver si la cantidad de fundentes utilizados es similar, en proporción a la producción al nivel de las instalaciones.

También, la información específica de la planta sobre el uso de piedra caliza, dolomita y otros carbonatos como fundentes puede compararse con las estadísticas de las asociaciones industriales. Estas estadísticas pueden, a su vez, compararse con las estadísticas de nivel nacional sobre la piedra caliza, la dolomita y otros consumos de carbonatos.

Suele ser útil examinar las tendencias de los datos de la actividad a través del tiempo para ver si se producen grandes fluctuaciones de un año para otro. Los compiladores del inventario deben ser cautos al sacar

conclusiones basadas en los datos de tendencias, pues en estas estadísticas puede haber grandes fluctuaciones entre año y año.

2.5.3.2 Generación de informes y documentación

El inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias sobre las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que puedan reproducirse los pasos para calcularlas. Tal como se ha señalado anteriormente, la consideración más importante que los compiladores del inventario deben tener en mente al declarar las emisiones de otros usos de carbonatos en los procesos es que las emisiones deben ser declaradas allí donde los carbonatos son consumidos.

NIVEL 1 Y NIVEL 2

Se debe proporcionar información sobre la cantidad de piedra caliza y de dolomita consumida por cada industria. Si se desconoce el desglose de los carbonatos consumidos en una industria en particular y se utiliza una atribución por defecto de 85 por ciento de piedra caliza y 15 por ciento de dolomita, esto debe documentarse.

NIVEL 3

La documentación requerida por el método de Nivel 3 es análoga a la de las otras categorías de fuente de este capítulo para las cuales las emisiones se calculan basándose en las entradas de carbonatos.

Referencias

- ASTM (1996). ASTM International. Standard Specification for Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone for Chemical Uses, Designation: C911-96, Table 1.
- ASTM (2004a). ASTM International. Standard Specification for Portland Cement, Designation: C-150-02.
- ASTM (2004b). ASTM International. Standard Specification for Blended Hydraulic Cements: C-595-03.
- Boyd, D. C. and Thompson, D. A. (1980) "Glass", Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Volume 11, pp 826-827.
- Boynton, R. S. (1980). Chemistry and Technology of Lime and Limestone, 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.
- CRC Handbook of Chemistry and Physics (2004). (David R. Lide, Ed in Chief); CRC Press, Boca Raton, FL; Sec. 1, p.12-14
- DIN (1994). Deutsche Industrie Norm. DIN 1164-1 Zement, Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen. Edition 1994-10.
- EU-BREF Ceramics (2005). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry. (<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>)
- Hendriks *et al.* (1998). Proceedings of the 4th International Conference of GHG Control Technologies. August 30-September 2. Interlaken.
- Miller, M. (1999a). US Geological Survey, Calculations based on Boynton, 1980.
- Miller, M. (1999b). U.S. Geological Survey. Calculations based on ASTM, 1996b and Schwarzkopf, 1985.
- Schwarzkopf, F. (1985). Lime Burning Technology (2nd Edition), Table 2, June 1985.
- Van Oss, H. (2005). Personal communication with Hendrik van Oss, January 2005.
- Van Oss, H. and Padovani, A. (2002). Cement Manufacture and the Environment. Part I: Chemistry and Technology. *Journal of Industrial Ecology*. Vol.6, Number 1, page 89-105.
- WBCSD (2005). World Business Council for Sustainable Development The Cement CO₂ Protocol: CO₂ Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry. Version 2. June 2005

CAPÍTULO 3

EMISIONES DE LA INDUSTRIA QUÍMICA

Autores

Sección 3.1

Jochen Harnisch (Alemania)

Secciones 3.2 – 3.8

Charles Jubb (Australia)

Alexander Nakhutin (Rusia) y Virginia Carla Sena Cianci (Uruguay)

Sección 3.9

Robert Lanza (Estados Unidos)

Thomas Martinsen (Noruega), Abdul Karim W. Mohammad (Irak), y Maruo M. O. Santos (Brasil)

Sección 3.10

Archie McCulloch (Reino Unido) y Brian T. Mader (Estados Unidos)

Autores colaboradores

Secciones 3.2 – 3.8

Javier Pérez-Ramírez (España)

Sección 3.9

Maarten Neelis (Países Bajos) y Martin Patel (Alemania)

Índice

3	Emisiones de la industria química	3.8
3.1	Introducción	3.8
3.2	Producción de amoníaco	3.8
3.2.1	Introducción	3.8
3.2.2	Cuestiones metodológicas	3.9
3.2.3	Evaluación de incertidumbre.....	3.15
3.2.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación ...	3.16
3.3	Producción de ácido nítrico.....	3.17
3.3.1	Introducción	3.17
3.3.2	Cuestiones metodológicas	3.17
3.3.3	Evaluación de incertidumbre.....	3.24
3.3.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación ...	3.24
3.4	Producción de ácido adípico	3.25
3.4.1	Introducción	3.25
3.4.2	Cuestiones metodológicas	3.25
3.4.3	Evaluación de incertidumbre.....	3.30
3.4.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación ...	3.30
3.5	Producción de caprolactama, glioxal y ácido glioxílico.....	3.32
3.5.1	Introducción	3.32
3.5.2	Caprolactama.....	3.32
3.5.3	Producción de caprolactama, glioxal y ácido glioxílico.....	3.39
3.6	Producción de carburo	3.39
3.6.1	Introducción	3.39
3.6.2	Cuestiones metodológicas	3.40
3.6.3	Evaluación de incertidumbre.....	3.45
3.6.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación ...	3.46
3.7	Producción de dióxido de titanio.....	3.47
3.7.1	Introducción	3.47
3.7.2	Cuestiones metodológicas	3.47
3.7.3	Evaluación de incertidumbre.....	3.51
3.7.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación ...	3.51
3.8	Producción de ceniza de sosa.....	3.52
3.8.1	Introducción	3.52
3.8.2	Producción de la ceniza de sosa natural	3.53
3.8.3	Producción de ceniza de sosa sintética Solvay.....	3.56
3.9	Producción petroquímica y del negro de humo.....	3.57
3.9.1	Introducción	3.57

3.9.2	Cuestiones metodológicas	3.64
3.9.3	Evaluación de incertidumbre.....	3.87
3.9.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación ...	3.91
Anexo 3.9A	Diagramas de flujo alimentación-producto.....	3.94
3.10	Producción fluoroquímica.....	3.95
3.10.1	Emisión de HFC-23 de la producción de HCFC-22.....	3.95
3.10.2	Emisiones provenientes de la producción de otros compuestos fluorados.....	3.106
Referencias.....		3.113

Ecuaciones

Ecuación 3.1	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de amoníaco – Nivel 1	3.10
Ecuación 3.2	Total de requisitos de combustible para la producción de amoníaco – Nivel 2.....	3.11
Ecuación 3.3	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de amoníaco – Nivel 2 y 3	3.11
Ecuación 3.4	Total de requisitos de combustible para la producción de amoníaco – Nivel 3.....	3.11
Ecuación 3.5	Emisiones de N ₂ O de la producción de ácido nítrico – Nivel 1	3.19
Ecuación 3.6	Emisiones de N ₂ O provenientes de la producción de ácido nítrico – Nivel 2.....	3.20
Ecuación 3.7	Emisiones de N ₂ O de la producción de ácido adípico – Nivel 1.....	3.26
Ecuación 3.8	Emisiones de N ₂ O de la producción de ácido adípico – Nivel 2.....	3.26
Ecuación 3.9	Emisiones de N ₂ O de la producción de caprolactama – Nivel 1.....	3.33
Ecuación 3.10	Emisiones de N ₂ O de la producción de caprolactama – Nivel 2.....	3.34
Ecuación 3.11	Emisiones de la producción de carburo	3.41
Ecuación 3.12	Emisiones de CO ₂ a partir de la producción de escoria de titanio, rutilo sintético y TiO ₂ rutilo – Nivel 1	3.48
Ecuación 3.13	Emisiones de CO ₂ a partir de la producción de escoria de titanio, rutilo sintético y TiO ₂ rutilo – Nivel 2	3.48
Ecuación 3.14	Emisiones de CO ₂ de la producción de ceniza de sosa natural – Nivel 1	3.53
Ecuación 3.15	Cálculo de la emisión de CO ₂ de Nivel 1.....	3.66
Ecuación 3.16	Cálculo de la estimación de la producción de producto primario	3.66
Ecuación 3.17	Ecuación General de equilibrio de masas de Nivel 2.....	3.68
Ecuación 3.18	Estimación de la producción de productos secundarios a partir de la producción de producto primario [etileno]	3.68
Ecuación 3.19	Estimación de la producción de productos secundarios a partir de la producción de producto primario [acrilonitrilo]	3.69
Ecuación 3.20	Ecuación de Nivel 3 para el cálculo de emisiones de CO ₂	3.69
Ecuación 3.21	Cálculo de Nivel 3 para las emisiones de CO ₂ de la quema de combustible	3.70
Ecuación 3.22	Cálculo de Nivel 3 para las emisiones de CO ₂ de la quema en antorcha	3.70
Ecuación 3.23	Cálculo de Nivel 1 para la emisión fugitiva de CH ₄	3.71
Ecuación 3.24	Cálculo de Nivel 1 para la emisión de CH ₄ del venteo de proceso	3.71
Ecuación 3.25	Cálculo de Nivel 1 para el total de emisiones de CH ₄	3.71

Ecuación 3.26	Cálculo de Nivel 3 de las emisiones de CH ₄ basado en datos de mediciones atmosféricas.....	3.72
Ecuación 3.27	Ecuación de Nivel 3 para el cálculo de emisiones de CH ₄	3.73
Ecuación 3.28	Cálculo de Nivel 3 para las emisiones de CH ₄ de la quema de combustible	3.73
Ecuación 3.29	Cálculo de Nivel 3 para las emisiones de CH ₄ de la quema en antorcha	3.73
Ecuación 3.30	Cálculo de Nivel 1 para el HFC-23 mediante un factor por defecto a partir del HCFC-22 (producido).....	3.97
Ecuación 3.31	Cálculo de Nivel 2 para el HFC-23 mediante factor(es) calculados de las eficiencias del proceso a partir del HCFC-22 (producido)	3.97
Ecuación 3.32	Cálculo del factor de emisión de HFC-23 de la eficiencia del balance de carbono	3.97
Ecuación 3.33	Cálculo del factor de emisión de HFC-23 de la eficiencia del balance de flúor	3.98
Ecuación 3.34	Cálculo de Nivel 3a de las emisiones de HFC-23 a partir de las corrientes individuales del proceso (método directo)	3.98
Ecuación 3.35	Cálculo de Nivel 3b de las emisiones de HFC-23 a partir de las corrientes individuales del proceso (método sustituto).....	3.98
Ecuación 3.36	Cálculo de Nivel 3c de las emisiones de HFC-23 a partir de las corrientes individuales del proceso (por monitoreo del producto del reactor).....	3.99
Ecuación 3.37	Cálculo de Nivel 3a de las emisiones «instantáneas» de HFC-23 en una corriente de proceso individual (método directo)	3.99
Ecuación 3.38	Cálculo de Nivel 3b de las emisiones de HFC-23 en una corriente de proceso individual (método sustituto).....	3.100
Ecuación 3.39	Cálculo de Nivel 3b de la emisión estándar para el método sustituto.....	3.100
Ecuación 3.40	Cálculo de Nivel 3c de las emisiones de HFC-23 desde una instalación individual por medición al interior del proceso	3.101
Ecuación 3.41	Cálculo de Nivel 1 para las emisiones relacionadas con la producción.....	3.108
Ecuación 3.42	Cálculo de Nivel 3 para las emisiones relacionadas con la producción.....	3.108
Ecuación 3.43	Cálculo de Nivel 3 sustituto para las emisiones relacionadas con la producción	3.108

Figuras

Figura 3.1	Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de amoníaco	3.12
Figura 3.2	Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de ácido nítrico.....	3.21
Figura 3.3	Árbol de decisión para estimar las emisiones de N ₂ O provenientes de la producción de ácido adípico	3.28
Figura 3.4	Árbol de decisión para estimar las emisiones de N ₂ O provenientes de la producción de caprolactama, glioxal o ácido glioxílico.....	3.36
Figura 3.5	Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ y CH ₄ provenientes de la producción de carburo	3.43
Figura 3.6	Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de dióxido de titanio	3.50
Figura 3.7	Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de ceniza de sosa natural.....	3.54
Figura 3.8	Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ provenientes de la industria petroquímica e industria del negro de humo	3.64

Figura 3.9	Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH ₄ provenientes de la industria petroquímica y de la industria del negro de humo	3.65
Figura 3.10	Diagrama de flujo del equilibrio de masas de carbono de Nivel 2	3.67
Figura 3.11	Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de metanol	3.94
Figura 3.12	Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de dicloruro de etileno	3.94
Figura 3.13	Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de óxido de etileno.....	3.94
Figura 3.14	Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de acrilonitrilo	3.95
Figura 3.15	Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de negro de humo	3.95
Figura 3.16	Árbol de decisión para las emisiones de HFC-23 provenientes de la producción de HCFC ..	3.102
Figura 3.17	Árbol de decisión para las emisiones de gases fluorados de efecto invernadero provenientes de los procesos de producción, aplicable tanto a las emisiones fugitivas como a las de los productos derivados.....	3.110

Cuadros

Cuadro 3.1	Total de requisitos de combustible por defecto y factores de emisión para la producción de amoníaco	3.13
Cuadro 3.2	Métodos de reducción del N ₂ O y medidas de reducción	3.18
Cuadro 3.3	Factores por defecto para la producción de ácido nítrico	3.22
Cuadro 3.4	Factores por defecto para la producción de ácido adípico	3.28
Cuadro 3.5	Factor por defecto para la producción de caprolactama.....	3.35
Cuadro 3.6	Factores por defecto para la producción de glioxal ácido glioxílico.....	3.39
Cuadro 3.7	Factores por defecto para las emisiones de CO ₂ y CH ₄ de la producción de carburo de silicio	3.44
Cuadro 3.8	Factores de emisión para las emisiones de CO ₂ a partir de la producción y uso del carburo de calcio.....	3.44
Cuadro 3.9	Factores por defecto para la producción de dióxido de titanio	3.49
Cuadro 3.10	Contenido específico en carbono de las sustancias petroquímicas 3. de alimentación al proceso y de los productos.....	3.70
Cuadro 3.11	Sustancias de alimentación y procesos por defecto de Nivel 1 para la producción petroquímica	3.74
Cuadro 3.12	Factores de emisión de CO ₂ de la producción de metanol.....	3.75
Cuadro 3.13	Factores de consumo de sustancias de alimentación para la producción de metanol	3.76
Cuadro 3.14	Factores de emisión de CO ₂ de Nivel 1 para la producción de etileno por escisión al vapor ...	3.77
Cuadro 3.15	Factores de ajuste geográfico por defecto para los factores de emisión de CO ₂ de Nivel 1 para la producción de etileno por el proceso de escisión al vapor	3.77
Cuadro 3.16	Factores de emisión por defecto de metano para la producción de etileno.....	3.78
Cuadro 3.17	Factores de emisión de CO ₂ de Nivel 1 para la producción de dicloruro de etileno y/o cloruro de vinilo	3.79
Cuadro 3.18	Factores de consumo de sustancias de alimentación de Nivel 1 para el proceso del dicloruro de etileno y/o monómero de cloruro de vinilo	3.80
Cuadro 3.19	Factor de emisión de CH ₄ por defecto de Nivel 1 para el proceso del dicloruro de etileno y/o cloruro de vinilo	3.80

Cuadro 3.20	Consumo de sustancias de alimentación en la producción de óxido de etileno y factores de emisión de CO ₂	3.81
Cuadro 3.21	Factores de emisión de CH ₄ de Nivel 1 para la producción de óxido de etileno	3.81
Cuadro 3.22	Factores de emisión de CO ₂ de la producción de acrilonitrilo.....	3.82
Cuadro 3.23	Factores de emisión de CO ₂ de Nivel 1 para la producción de negro de humo	3.83
Cuadro 3.24	Factores de emisión de CH ₄ de Nivel 1 para la producción de negro de humo	3.83
Cuadro 3.25	Matriz alimentación-producto de la escisión al vapor del etileno.....	3.85
Cuadro 3.26	Factores de producción de productos secundarios para el proceso de producción del acrilonitrilo.....	3.86
Cuadro 3.27	Intervalos de incertidumbre para los factores de emisión y los datos de la actividad.....	3.90
Cuadro 3.28	Factores de emisión de HFC-23 por defecto.....	3.103

Recuadros

Recuadro 3.1	CO ₂ recuperado como gas industrial.....	3.12
Recuadro 3.2	Cómputo doble	3.14
Recuadro 3.3	Producción de urea	3.14
Recuadro 3.4	Cómputo doble	3.40
Recuadro 3.5	Atribución de las emisiones de la producción de CaO.....	3.41
Recuadro 3.6	Cómputo doble	3.49
Recuadro 3.7	Cómputo doble	3.57
Recuadro 3.8	Descripciones del proceso del metanol.....	3.59
Recuadro 3.9	Descripción del proceso del etileno	3.60
Recuadro 3.10	Descripciones del proceso del dicloruro de etileno y del monómero de cloruro de vinilo	3.60
Recuadro 3.11	Descripción del proceso del óxido de etileno	3.61
Recuadro 3.12	Descripción del proceso del acrilonitrilo	3.62
Recuadro 3.13	Descripciones del proceso de producción del negro de humo	3.63
Recuadro 3.14	Frecuencia de las mediciones de planta.....	3.104

3 EMISIONES DE LA INDUSTRIA QUÍMICA

3.1 INTRODUCCIÓN

Las siguientes Secciones 3.2 hasta 3.10 ofrecen orientaciones para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero que resultan de la producción de varios productos químicos inorgánicos y orgánicos para los cuales la experiencia de varios países ha confirmado que contribuyen significativamente a los niveles de emisión mundiales o nacionales de gases de efecto invernadero.

La Sección 3.2 cubre las emisiones provenientes de la producción de amoníaco.

La Sección 3.3 cubre las emisiones provenientes de la producción de ácido nítrico.

La Sección 3.4 cubre las emisiones provenientes de la producción de ácido adípico.

La Sección 3.5 cubre las emisiones provenientes de la producción de caprolactama, glioxal y ácido glioxílico.

La Sección 3.6 cubre las emisiones provenientes de la producción de carburo.

La Sección 3.7 trata de las emisiones provenientes de la producción de dióxido de titanio.

La Sección 3.8 trata de las emisiones provenientes de la producción de ceniza de sosa.

La Sección 3.9 cubre las emisiones provenientes de los procesos principales de la producción petroquímica y del negro de humo: esto es, del metanol, etileno y propileno, dicloruro de etileno, óxido de etileno, acrilonitrilo y negro de humo;

La Sección 3.10 aborda las emisiones provenientes de la producción fluorquímica, es decir, del HFC-23 de la producción del HCFC-22, así como de las emisiones fugitivas y de los productos derivados de la producción de otros compuestos fluorados, incluidos los hidrofluorocarbonos (HFC), el hexafluoruro de azufre (SF_6) y el hexafluoruro de uranio (UF_6).

Tanto en este capítulo como en el Volumen 2, sobre el Sector Energía, hay que cuidar de no efectuar cálculos dobles ni de omitir ni de omitir emisiones de dióxido de carbono (CO_2) pues las emisiones de CO_2 que resultan de la función del carbono, tanto como reactivo en los procesos y como fuente de calor para sostener las reacciones químicas involucradas en los procesos químicos, pueden estar estrechamente relacionadas. En los casos en que haya tecnologías de captura instaladas en una planta, el CO_2 capturado debe restarse de los cálculos de emisiones realizados con los niveles superiores. Las orientaciones respectivas sobre captura y destrucción ulterior o sobre el uso de HFC-23 u otros productos fluorquímicos, se abordan en la Sección 3.10. En toda metodología que tome en cuenta la captura de CO_2 debe considerarse que las emisiones de CO_2 capturado en el proceso pueden estar relacionadas tanto con la combustión como con el proceso, a la vez. En los casos en que las emisiones debidas a la combustión y al proceso deban declararse por separado, p. ej., en la industria petroquímica, los compiladores del inventario deben garantizar que las mismas cantidades de CO_2 no sean contabilizadas por partida doble. En estos casos, la cantidad total de CO_2 capturado debe declararse preferentemente en las categorías correspondientes de fuente de Energía e IPPU, en proporción con las cantidades de CO_2 generado en cada categoría de fuente. La hipótesis por defecto es que no hay captura ni almacenamiento (CCS) de CO_2 . Para más información sobre la captura y el almacenamiento de CO_2 , refiérase al Volumen 3, Sección 1.2.2 y para mayores detalles sobre captura y almacenamiento, al Volumen 2, Sección 2.3.4.

3.2 PRODUCCIÓN DE AMONÍACO

3.2.1 Introducción

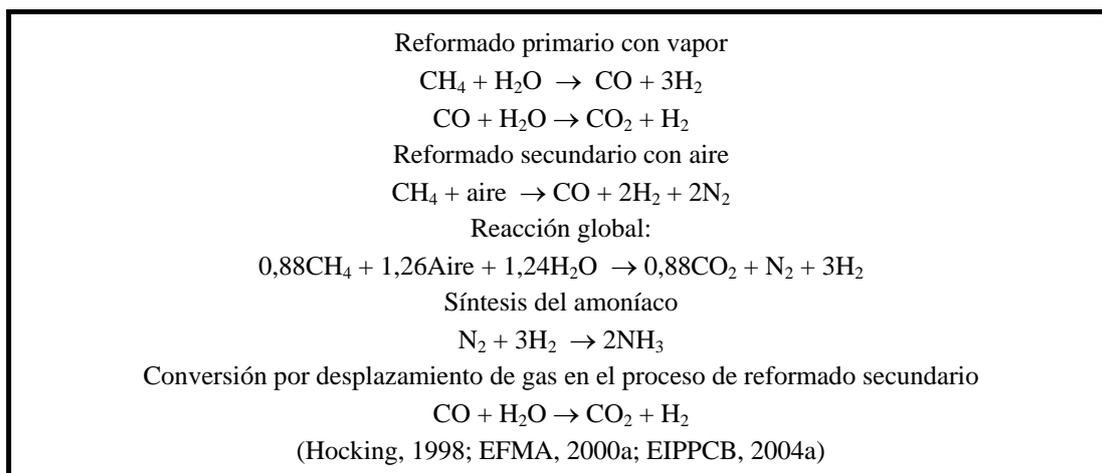
El amoníaco (NH_3) es uno de los principales productos químicos industriales y el material más importante nitrogenado producido. El gas de amoníaco se utiliza directamente como fertilizante, en el tratamiento por calor, en la obtención de pulpa de papel, en la fabricación de ácido nítrico y de nitratos, en la fabricación del éster de ácido nítrico y de los compuestos nitrados, explosivos de diversa índole y como refrigerante. Las aminas, amidas y otros diversos compuestos orgánicos, tales como la urea, se fabrican a partir del amoníaco (Austin, 1984; p.303).

La producción de amoníaco requiere una fuente de nitrógeno (N) y una de hidrógeno (H). El nitrógeno se obtiene del aire mediante la destilación del aire líquido o a través de un proceso de oxidación en el cual se quema aire y se recupera nitrógeno residual. La mayor parte del amoníaco se obtiene del gas natural (principalmente metano (CH_4)), aunque puede obtenerse H de otros hidrocarburos (carbón [por vía indirecta], petróleo) y agua (Hocking,

1998; p.317). Un pequeño número de plantas siguen usando fuel óleo como entrada de combustible y como fuente de H en el proceso de oxidación parcial. El contenido de carbono (C) del hidrocarburo se elimina del proceso en la etapa primaria de reformado al vapor y en la etapa de conversión en dióxido de carbono (CO₂) por desplazamiento, que es la principal emisión potencial de gas de efecto invernadero. Las plantas que usan hidrógeno en vez de gas natural para producir amoníaco no liberan CO₂ a partir de este proceso de síntesis.

3.2.2 Cuestiones metodológicas

La química involucrada en la obtención de las sustancias para la alimentación del proceso de producción del amoníaco es similar, independientemente del hidrocarburo utilizado, sea éste el CH₄ u otros combustibles fósiles (Hocking, 1998; p.319). Puesto que en la industria predomina el uso del gas natural, el esquema del proceso y de las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂) que se presenta a continuación está basado en la producción a partir del gas natural. La producción de amoníaco anhidro por reformado catalítico al vapor de gas natural (principalmente CH₄) tiene como resultado la producción de dióxido de carbono como producto derivado e implica las siguientes reacciones.



Los procesos que afectan las emisiones de CO₂ asociadas con la producción de amoníaco son:

desplazamiento del monóxido de carbono a dos temperaturas al usar catalizadores de óxido de hierro, óxido de cobre y/o óxido de cromo para la conversión en dióxido de carbono;

absorción del dióxido de carbono por una solución depuradora de carbonato de potasio caliente, monoetanolamina (MEA), Sulfinol (alcanol-amina y dióxido de tetrahidrotiofeno) u otros;

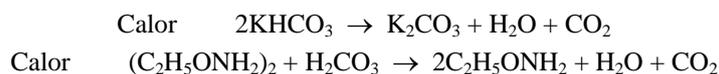
conversión del CO₂ residual en metano mediante catalizadores de níquel para purificar el gas de síntesis.

La producción de amoníaco representa una fuente significativa de emisiones industriales no energéticas de CO₂. En las plantas que usan el proceso de reformado al vapor del gas natural, la liberación principal de CO₂ se produce durante la regeneración de la solución depuradora del CO₂ con emisiones menores resultantes de la depuración de los condensados de aguas amoniacales.

En el caso de que en una planta se haya instalado y se utilice una tecnología de captura del CO₂, es una *buena práctica* deducir el CO₂ capturado de los cómputos de emisiones de nivel superior. La hipótesis por defecto es que no hay captura ni almacenamiento (CCS) de CO₂. En la mayoría de los casos, en las metodologías que dan cuenta de la captura de CO₂, deben considerar que las emisiones de CO₂ capturado en el proceso pueden estar relacionadas tanto con la combustión como con el proceso mismo. Sin embargo, en el caso de la producción de amoníaco no se distinguen las emisiones provenientes de combustibles y de la alimentación a procesos de todas las emisiones consideradas en el Sector IPPU. Por igual, todo el CO₂ capturado debe contabilizarse en el Sector IPPU. Para más información sobre captura y almacenamiento de CO₂ refiérase al Volumen 3, Sección 1.2.2 y para mayores detalles sobre captura y almacenamiento, al Volumen 2, Sección 2.3.4.

REGENERADOR DE DIÓXIDO DE CARBONO

Después de la absorción del CO₂ de los gases del proceso, se regeneran (para ser reutilizadas) las soluciones depuradoras saturadas (p. ej., carbonato de potasio, MEA, etc.) mediante la separación al vapor y/o por ebullición, para liberar el CO₂ de los bicarbonatos según las reacciones siguientes:



El gas separador, que contiene CO_2 y otras impurezas, puede ser dirigido hacia una planta de urea (cuando ésta esté en funciones), hacia una planta de ácido carbónico líquido, o bien, ventearse hacia la atmósfera (*Environment Canada*, 1987).

DEPURADOR DE CONDENSADOS

Luego de la conversión por desplazamiento a bajas temperaturas, el enfriamiento del gas de síntesis forma un condensado que contiene pequeñas cantidades de CO_2 y otras impurezas del proceso. Se separa el condensado al vapor, lo que puede resultar en el venteo de sus componentes hacia la atmósfera, pero normalmente se recicla hacia el proceso junto con la corriente del proceso (U.S. EPA, 1985).

3.2.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

La elección del método depende de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión de la Figura 3.1. Las emisiones se estiman del total de requisitos de combustible o de los valores derivados de las estimaciones del total de requisitos de combustible, utilizados en la producción de NH_3 . Los requisitos en energía proveniente de combustibles no se contabilizan por separado. Nótese que, al estimar las emisiones, los valores declarados en unidades de energía (o unidades de volumen) deben ser convertidos en unidades de masa.

Los métodos se clasifican según la cantidad de datos que estén disponibles al nivel de la planta. El método de Nivel 1 se basa en valores por defecto y en estadísticas nacionales; el método de Nivel 2 se basa en datos completos de salida al nivel de la planta, que se distinguen según tipo de combustible de entrada y tipo de proceso, más valores por defecto; el método de Nivel 3 se basa por completo en los datos de entrada al nivel de la planta.

Para derivar el total de requisitos en combustible, el método de Nivel 3 utiliza datos de salidas al nivel de la planta y entradas de combustible al nivel de la planta por unidad de salida. De manera similar, el Nivel 3 puede emplear también factores de emisión del nivel de planta por unidad de salida, siempre y cuando la fuente de estos factores corresponda a datos detallados, al nivel de planta, sobre las entradas de combustible por unidad de salida.

MÉTODO DE NIVEL 1

El método de Nivel 1 utiliza la producción de amoníaco para derivar las emisiones de la manera siguiente:

ECUACIÓN 3.1 EMISIONES DE CO_2 PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE AMONÍACO – NIVEL 1

$$E_{\text{CO}_2} = AP \cdot FR \cdot CCF \cdot FOC \cdot 44/12 - R_{\text{CO}_2}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO_2 , kg.

AP = producción de amoníaco, toneladas

FR = requisito de combustibles por unidad de salida, GJ/toneladas de amoníaco producido

CCF = factor del contenido de carbono del combustible, kg. C/GJ

FOC = factor de oxidación de carbono del combustible, fracción

R_{CO_2} = CO_2 recuperado para utilización ulterior en un proceso secundario (producción de urea), kg.

La producción de amoníaco y los factores de emisión pueden obtenerse a través de las estadísticas nacionales y los factores de emisión pueden determinarse a partir de los valores por defecto presentados en el Cuadro 3.1. Cuando no se disponga de información sobre el tipo de combustible y/o sobre el tipo de proceso, es una *buena práctica* utilizar los factores de emisión más elevados del Cuadro 3.1. El CO_2 recuperado para utilización en un proceso secundario puede estimarse a partir de la cantidad de urea producida, para lo cual el CO_2 se estima multiplicando la producción de urea por 44/60, el cociente estequiométrico del CO_2 para la urea. Cuando se efectúa una deducción para el CO_2 utilizado en la producción de urea, es una *buena práctica* garantizar que las emisiones provenientes del uso de la urea estén incluidas en algún otro lugar del inventario. Si no se dispone de datos sobre la producción de urea, es una *buena práctica* suponer que el CO_2 recuperado es nulo.

MÉTODO DE NIVEL 2

La etapa inicial consiste en determinar el total de requisitos de combustible. Para el método de Nivel 2, el total de requisitos de combustible para cada tipo de combustible se estima de la forma siguiente:

$$\text{TOTAL DE REQUISITOS DE COMBUSTIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE AMONÍACO – NIVEL 2}$$

$$TFR_i = \sum_j (AP_{ij} \cdot FR_{ij})$$

Donde:

TFR_i = total de requisitos de combustible de tipo i , GJ

AP_{ij} = producción de amoníaco que usa el combustible de tipo i en el proceso de tipo j , toneladas

FR_{ij} = requisitos de combustible por unidad de salida para el combustible i en el proceso de tipo j , GJ/toneladas de amoníaco producido

La producción de amoníaco, los tipos de combustible y procesos pueden obtenerse a través de los productores y los requisitos de combustible por unidad de salida (FR) pueden determinarse a partir de los valores por defecto presentados en el Cuadro 3.1. Las emisiones se derivan según la Ecuación 3.3:

$$\text{EMISIONES DE CO}_2 \text{ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE AMONÍACO – NIVEL 2 Y 3}$$

$$E_{CO_2} = \sum_i (TFR_i \cdot CCF_i \cdot FOC_i \cdot 44/12) - R_{CO_2}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂, kg.

TFR_i = total de requisitos de combustible para el tipo i , GJ

CCF = factor del contenido de carbono del combustible de tipo i , kg. C/GJ

FOC = factor de oxidación del carbono del combustible de tipo i , fracción

R_{CO_2} = CO₂ recuperado para utilización ulterior en un proceso secundario (producción de urea, captura y almacenamiento (CCS) de CO₂), kg.

Cuando se utilice el método de Nivel 2, el contenido de C del combustible (CCF) y el factor de oxidación del C (FOC) puede obtenerse de los valores por defecto presentados en el Cuadro 3.1 o de la información específica del Sector Energía del país. Los datos sobre el CO₂ recuperado a partir de la producción de urea y del CCS deben obtenerse a través de los productores.

MÉTODO DE NIVEL 3

El método de Nivel 3 requiere que los productores proporcionen los requisitos de combustibles. El total de requisitos de combustibles es la suma de los requisitos totales de combustibles declarados por cada planta productora de NH₃. Esto es:

$$\text{TOTAL DE REQUISITOS DE COMBUSTIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE AMONÍACO – NIVEL 3}$$

$$TFR_i = \sum_n TFR_{in}$$

Donde:

TFR_i = requisitos totales de combustible de tipo i , GJ

TFR_{in} = requisitos totales de combustible de tipo i utilizado por la planta n , GJ

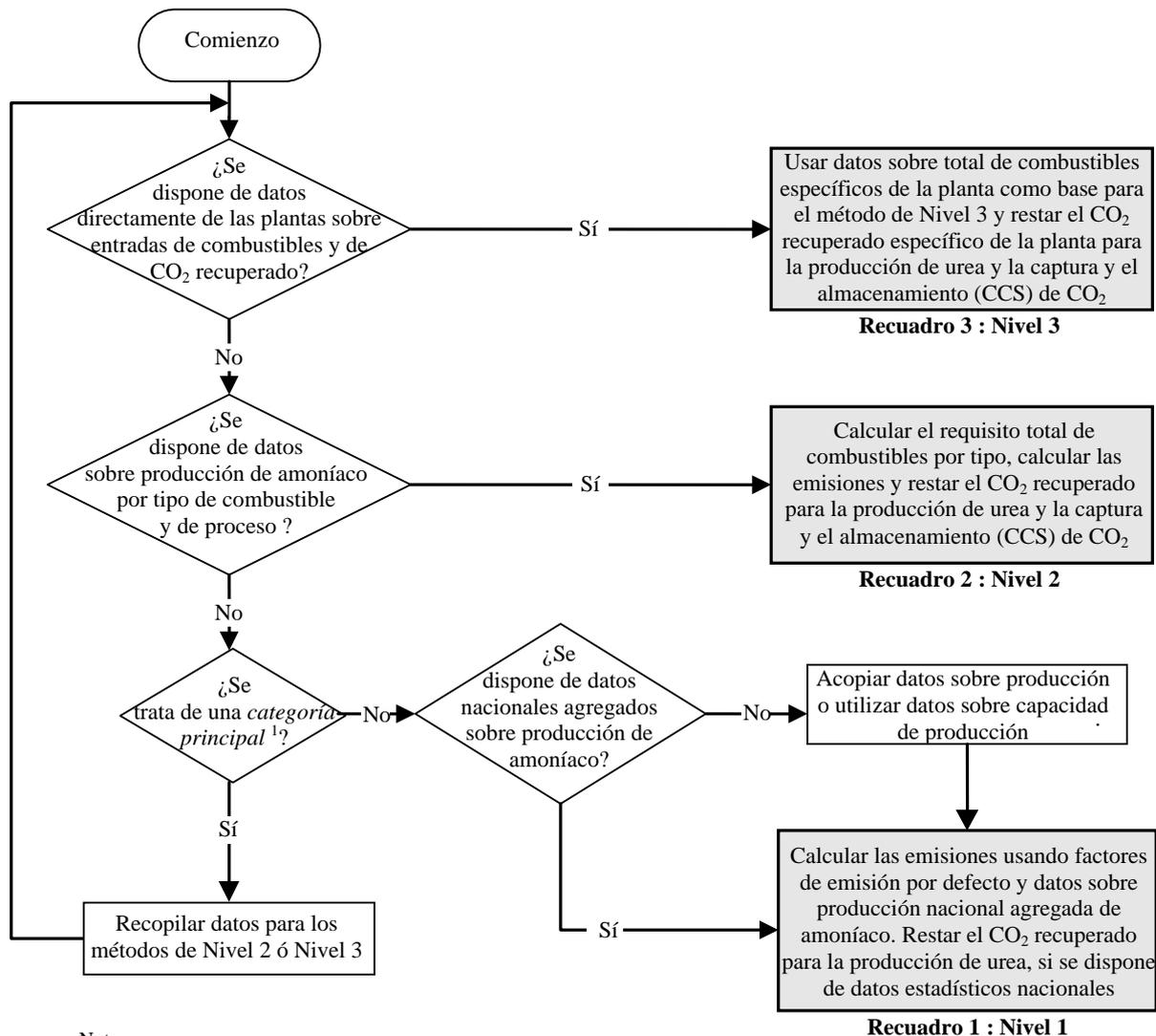
Una vez que se hayan recolectado y cotejado los datos sobre el total de los requisitos de combustible, pueden estimarse las emisiones de CO₂ mediante la Ecuación 3.3. Cuando se utilice el método de Nivel 3, es una *buena práctica* obtener información de los productores sobre el CCF y el FOC, o bien, utilizar la información sobre el Sector Energía específicos del país. Al igual que para el método de Nivel 2, los datos sobre el CO₂ recuperado para la producción de urea (si es el caso) y para el CCS (si se practica) deben obtenerse a través de los productores.

Aunque los datos sobre la producción de amoníaco no se utilizan en los cálculos del Nivel 3, es necesario recopilarlos a través de los productores para los efectos de la generación de informes.

RECUADRO 3.1
CO₂ RECUPERADO COMO GAS INDUSTRIAL

El CO₂ recuperado para las aplicaciones como gas industrial no se contabiliza por separado pues éste representa un volumen de uso a corto plazo relativamente bajo y porque se supone que todo el carbono proveniente del gas industrial se emite hacia la atmósfera en el país productor. Por ejemplo, se supone que el CO₂ industrial utilizado en las aplicaciones de refrigeración se libera en el país productor.

Figura 3.1 **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de amoníaco**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

3.2.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

MÉTODO DE NIVEL 1

Si no se dispone de información al nivel de plantas, es una *buena práctica* emplear los factores por defecto. Por lo general, estos factores representan valores medios o medianos de conjuntos de datos (determinados mediante análisis de expertos). Se desconoce en qué medida representan los índices de emisión de una planta específica. Los factores por defecto por proceso de producción se presentan en el Cuadro 3.1 que deben usarse sólo en

aquellos casos en que no estén disponibles los datos específicos de las plantas. Los factores por defecto son estimaciones del total de requisitos de combustible por unidad de salida, expresados en unidades de energía. Pueden convertirse en unidades de masa basándose en el contenido de C del combustible y en el factor de oxidación de C indicados en el Volumen 2 de estas *Directrices*: Energía. También se incluyen estos valores en el Cuadro 3.1, pues corresponden a factores de emisión en toneladas de CO₂ por tonelada de NH₃ que se han derivado utilizando estos valores.

Para el método de Nivel 1, es una *buena práctica* utilizar los requisitos mayores de combustible por tonelada de amoníaco. Si no se dispone de información sobre el tipo de combustible, es una *buena práctica* utilizar el valor promedio para la oxidación parcial presentado en el Cuadro 3.1

CUADRO 3.1				
TOTAL DE REQUISITOS DE COMBUSTIBLE POR DEFECTO (COMBUSTIBLE MÁS ALIMENTACIÓN A PROCESOS)				
Y FACTORES DE EMISIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE AMONÍACO (POR TONELADA DE NH₃)				
Proceso de producción	Total de requisitos de combustible (GJ(NCV) / tonelada de NH₃) ± Incertidumbre (%)	Factor de contenido de carbono [CCF]¹ (kg./GJ)	Factor de oxidación de carbono [FOC]¹ (fracción)	Factor de emisión de CO₂ (toneladas de CO₂/toneladas de NH₃)
Plantas modernas - Europa Reformado convencional – gas natural	30,2 (± 6%)	15,3	1	1,694
Reformado por exceso de aire – gas natural	29,7 (± 6%)	15,3	1	1,666
Reformado autotérmico – gas natural	30,2 (± 6%)	15,3	1	1,694
Oxidación parcial	36,0 (± 6%)	21,0	1	2,772
Derivado de los valores promedio europeos para consumos de energía específicos (mezcla de plantas modernas y más antiguas) Valor promedio – gas natural	37,5 (± 7%)	15,3	1	2,104
Valor promedio – oxidación parcial	42,5 (± 7%)	21,0	1	3,273
VCN –Valor calórico neto.				
¹ . Valores tomados de Energía, Vol. 2, Capítulo 1, Cuadros 1.3 y 1.4.				
Fuente: Adaptado de EFMA (2000b; p.21); de Beer, Philipsen y Bates (2001; p.21); para las plantas modernas, los factores por defecto pueden derivarse usando el contenido de C correspondiente al gas natural (considerado seco) y los factores por defecto de la oxidación parcial pueden derivarse utilizando el contenido de C correspondiente al fuel óleo residual.				

MÉTODO DE NIVEL 2

Los valores del total de requisitos de combustible por unidad de salida del Cuadro 3.1 puede utilizarse conjuntamente con los datos sobre la producción de NH₃ por tipo de combustible y por tipo de proceso, ya sea con valores por defecto o con datos específicos del país sobre el factor de contenido de C y el factor de oxidación de carbono de los combustibles.

MÉTODO DE NIVEL 3

La información obtenida al nivel de plantas sobre el total de requisitos de combustible proporciona los datos más rigurosos para calcular las emisiones de CO₂ procedentes de la producción de amoníaco. Es una *buena práctica* obtener información sobre el factor CCF y el factor FOC de los productores o utilizar datos del Sector Energía específicos del país. El CCF es la variable de factor de emisión más importante del cálculo para derivar la cantidad de emisiones de CO₂. La derivación de las emisiones a partir de la producción de amoníaco al nivel de plantas depende de la estimación exacta de los requisitos de combustible por unidad de salida, así como de la información sobre las demás variables.

3.2.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

MÉTODO DE NIVEL 1

El método de Nivel 1 exige datos nacionales sobre la producción de NH₃. Si no se dispone de datos de la actividad de nivel nacional, se puede utilizar la información sobre la capacidad de producción. Si el compilador del inventario está en condiciones de documentar que durante un año la utilización ha sido inferior a la capacidad, es una *buena práctica* multiplicar el total de la capacidad de producción nacional por un factor de utilización de la capacidad de 80 ± 10 por ciento (es decir, un intervalo entre 70 y 90 por ciento). Debe aplicarse el mismo factor de utilización de la capacidad a cada año de una serie temporal.

MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 exige datos sobre la producción de amoníaco al nivel de las plantas, clasificados por tipo de combustible y de proceso de producción. Además, se necesitan datos del nivel de plantas sobre el CO₂ recuperado para uso en un proceso secundario o para otras aplicaciones.

MÉTODO DE NIVEL 3

Los datos de la actividad al nivel de plantas requeridos por el método de Nivel 3 son los del total de requisitos de combustible clasificados por tipo de combustible, CO₂ recuperado para uso en un proceso secundario u otras aplicaciones y los de la producción de amoníaco. Aunque la producción de amoníaco no se usa en los cálculos de Nivel 3, la recopilación de todos los datos de las actividades que influyen en la estimación de las emisiones permite efectuar cambios a través del tiempo e identificar errores de declaración en los datos de la actividad. Cuando se utilicen los requisitos en combustible por unidad de salida, es necesario recopilar datos de producción al nivel de plantas.

RECUADRO 3.2 CÓMPUTO DOBLE

Con el fin de evitar el cómputo dobles, las cantidades totales de petróleo o gas utilizado (combustible más alimentación a procesos) en la producción de amoníaco debe sustraerse de la cantidad declarada bajo uso energético en el **Sector Energía**.

Además, para derivar el CO₂ emitido, la cantidad de CO₂ recuperado para uso secundario en la **producción de urea** debe restarse de la cantidad total de CO₂ generado. Las emisiones de CO₂ a partir del uso de la urea deben contabilizarse en los sectores correspondientes. En particular, las emisiones provenientes del **uso de la urea** como fertilizante deben incluirse en el **Sector Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)** (véase el Volumen 4) Las emisiones provenientes del uso de la urea en los convertidores catalíticos de vehículos deben contabilizarse en el Sector Energía (Volumen 2). Las emisiones provenientes de cualquier otro producto químico fabricado a partir del CO₂ recuperado del proceso (p. ej., emisiones provenientes del uso del ácido carbónico) están cubiertas por las metodologías sugeridas en esta sección y no deben tomarse en cuenta en otras secciones de IPPU u otros sectores.

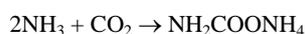
RECUADRO 3.3 PRODUCCIÓN DE UREA

La urea (CO(NH₂)₂) (carbonilamida) es un importante fertilizante nitrogenado, con el más alto contenido de nitrógeno de entre todos los fertilizantes sólidos. La urea se emplea también como un suplemento alimenticio proteínico para rumiantes, en la producción de melamina, como ingrediente en la fabricación de resinas, plásticos, adhesivos, recubrimientos, agentes de tratamiento inecogible para textiles y resinas de intercambio iónico (Austin, 1984; pp.311-312). Está en desarrollo un uso como agente reductor en la reducción catalítica selectiva del NO_x en los gases de escape producidos por los motores diesel o de gasolina a inyección directa. Las emisiones provenientes de las aplicaciones de la urea deben contabilizarse en los sectores de las aplicaciones apropiadas.

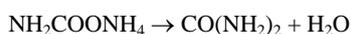
La producción de urea es un proceso secundario asociado a las plantas de producción de amoníaco. El proceso utiliza la corriente de producto derivado CO₂ de una planta de síntesis de amoníaco junto con el amoníaco.

La urea se produce mediante la reacción del NH₃ y del CO₂ para producir carbamato de amonio, el cual se deshidrata luego para obtener urea según las reacciones:

Producción de carbamato de amonio:



Deshidratación del carbamato de amonio en urea:



Suponiendo una conversión completa del NH_3 y del CO_2 en urea, se requieren 0,733 toneladas de CO_2 por tonelada de urea producida. Las emisiones de gases de efecto invernadero de las plantas modernas tienden a ser reducidas. El NH_3 y el CO_2 en exceso están contenidos en el agua de proceso que se forma durante la reacción. El tratamiento del agua está diseñado para recuperar estas sustancias del agua de proceso para permitir el reciclado de los gases hacia la síntesis (EIPPCB, 2004a; p.118). Basándose en las entradas más comunes de las plantas modernas (EIPPCB, 2004a; p.121), los valores de las entradas implican que las emisiones de CO_2 varían entre 2 y 7 kg. por tonelada de urea. Para una planta que produce 1 000 toneladas de urea por día y suponiendo una utilización de su capacidad al 90 por ciento, implicaría emisiones anuales de CO_2 ligeramente superiores a 2Gg.

Aunque es poco probable que las emisiones provenientes de la producción de urea resulten significativas en una planta moderna bien operada, es una *buena práctica* obtener información sobre la producción de urea al nivel de la planta y dar cuenta de cualquier emisión significativa.

3.2.2.4 EXHAUSTIVIDAD

En aquellos países donde sólo un subconjunto de las plantas declara datos para el método de Nivel 3 o donde se da una transición del Nivel 2 hacia el Nivel 3, quizá no sea posible declarar emisiones utilizando el Nivel 3 para todas las instalaciones durante el período de transición. Allí donde los datos necesarios para el método de Nivel 3 no estén disponibles para todas las plantas, se puede usar el Nivel 2 para las plantas restantes. Igualmente, allí donde los datos necesarios para el método de Nivel 2 hayan sido declarados sólo por un subconjunto de las plantas, o donde se dé una transición del Nivel 1 hacia el Nivel 2, es posible que se pueda determinar la parte de la producción representada por las plantas que no declaran y usar esta información para estimar las emisiones restantes utilizando el Nivel 1, de modo que se garantice la exhaustividad durante el período de transición.

La cobertura completa de la producción de amoníaco reexige contabilizar todas las emisiones provenientes de todas las fuentes. Las emisiones de CO_2 se obtienen directamente. Se puede mejorar la exhaustividad garantizando que se hayan incluido las emisiones de todo CH_4 fugitivo, provengan éstas de la etapa de reformado primario o del proceso de metanización catalítica del CO_2 . Con el fin de incluir las emisiones de NO_x , CO y SO_2 del proceso de reformado primario, véanse las orientaciones propuestas en el Capítulo 7 del Volumen 1: Orientación general y generación de informes

3.2.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Cada vez que se modifican los métodos de cálculo, las emisiones deben recalcularse para todos los años (p. ej., si el compilador del inventario cambia de un uso de valores por defecto a un uso de valores efectivos determinados al nivel de la planta). Si no se dispone de datos específicos de la planta para todos los años de la serie temporal, incluidos los datos específicos de producción y los datos sobre usos en procesos secundarios de la planta, será necesario considerar cómo pueden utilizarse los datos actuales para recalcular las emisiones de los años anteriores. Es posible que se puedan aplicar factores de emisión actuales específicos de la planta a los datos de producción de los años anteriores, siempre y cuando las operaciones de la planta no hayan cambiado de manera sustancial. La repetición de los cálculos es necesaria para garantizar que cualquier cambio en las tendencias de emisión corresponda a un efecto real y no a un artificio derivado de los cambios en el procedimiento de cálculo. Es una *buena práctica* recalcular la serie temporal según la orientación presentada en el Volumen 1, Capítulo 5.

3.2.3 Evaluación de incertidumbre

3.2.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Las incertidumbres para los valores por defecto presentadas en el Cuadro 3.1 corresponden a estimaciones basadas en datos tomados de EFMA (2000a; p.21) y de Beer, Phylipsen y Bates (2001; p.21). En general, los factores de emisión por defecto para las entradas y salidas gaseosas poseen incertidumbres superiores a las de las entradas y salidas sólidas o líquidas. Los valores de masa para las sustancias gaseosas se ven afectados por las variaciones de temperatura y de presión y los gases se pierden más fácilmente a través de fugas en los procesos. Es una *buena práctica* obtener estimaciones de incertidumbre al nivel de la planta, las cuales deben ser menores que los valores de incertidumbre asociados a los valores por defecto. Las incertidumbres de los factores de emisión por defecto reflejan variaciones entre plantas situadas en diferentes ubicaciones.

3.2.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Allí donde los datos de la actividad hayan sido obtenidos a partir de las plantas, las estimaciones de incertidumbre pueden obtenerse a través de los productores. Es muy probable que estos datos sean bastante exactos (esto es, con una incertidumbre tan baja como un ± 2 por ciento). En esto se incluyen las estimaciones de incertidumbre en el uso de combustibles, en la producción de amoníaco y en la recuperación de CO₂. Por lo general, los datos que se obtienen de los organismos nacionales de estadísticas no incluyen estimaciones de incertidumbre. Es una buena práctica consultar los organismos nacionales de estadísticas para obtener información sobre cualquier error de muestreo. Allí donde los organismos nacionales de estadísticas recopilan datos de la población de instalaciones de producción de amoníaco, no es de esperar que las incertidumbres en las estadísticas nacionales difieran de las incertidumbres establecidas a partir de consultas realizadas al nivel de las plantas. Cuando no se disponga de valores de incertidumbre provenientes de otras fuentes, se puede usar un valor por defecto de ± 5 por ciento.

3.2.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

3.2.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6. Se insta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Comparación de los factores de emisión

Los compiladores del inventario deben verificar si los factores de emisión estimados están dentro del intervalo de los factores de emisión por defecto proporcionados para el método de Nivel 1 y, además, deben garantizar que los factores de emisión sean coherentes con los valores derivados del análisis de la química del proceso. Por ejemplo, la tasa de generación de CO₂ basada en el gas natural no debe ser inferior a 1,14 toneladas de CO₂ por tonelada de amoníaco producido. Si los factores de emisión caen fuera de los intervalos estimados, es una *buena práctica* evaluar y documentar las condiciones específicas de la planta que dan cuenta de las diferencias.

Verificación de los datos específicos de la planta

Para una auditoría adecuada de las estimaciones de emisiones se requieren los siguientes datos específicos de planta:

Datos de la actividad que incluyan datos de entradas y de salidas (los datos de entrada deben ser el total de los requisitos de combustibles, vale decir, entrada de combustible energético más alimentación al proceso);

Método de cálculo y estimación utilizado;

Lista de las hipótesis formuladas;

Documentación sobre todo método de medición específico de la planta y resultados de la medición.

Si se recopilan las mediciones de las emisiones provenientes de las plantas individuales, los compiladores del inventario deben garantizar que dichas mediciones hayan sido efectuadas según normas nacionales o internacionales reconocidas. Los procedimientos de GC practicados en la instalación deben declararse con referencias directas e incluirse en el plan de GC. Si las prácticas de medición no son coherentes con las normas de GC, los compiladores del inventario deben reconsiderar el uso de los datos correspondientes.

3.2.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. No obstante, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

Gran parte de los datos sobre producción y procesos es considerada como propiedad intelectual por los operadores, particularmente cuando en un país sólo hay un número reducido de plantas. Es una *buena práctica* aplicar las técnicas apropiadas, incluida la agregación de datos, para garantizar la protección de los datos confidenciales. En la Sección 2.2 del Volumen 1, se presenta una orientación sobre el manejo de datos confidenciales.

3.3 PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO

3.3.1 Introducción

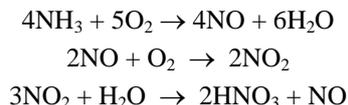
El ácido nítrico se utiliza principalmente como materia prima en la fabricación de fertilizantes nitrogenados. Puede emplearse también en la producción de ácido adípico y de explosivos (p. ej., la dinamita), para el grabado de metales y en el procesamiento de metales ferrosos.

Durante la producción de ácido nítrico (HNO_3) se genera óxido nitroso (N_2O) como un producto derivado no intencional de la oxidación catalítica a altas temperaturas del amoníaco (NH_3). La cantidad de N_2O que se forma depende, entre otros factores, de las condiciones de combustión (presión, temperatura), de la composición y envejecimiento del catalizador y del diseño del quemador (EFMA, 2000b; p.15). Además, se produce algo de NO_x . La formación de NO_x es más pronunciada durante la puesta en marcha y detención de la reacción, cuando el proceso es menos estable (EFMA, 2000b; p.15). El N_2O se genera también en otros procesos industriales que utilizan óxidos de nitrógeno o ácido nítrico como sustancias de alimentación al proceso (p. ej., en la fabricación de caprolactama, de glicoxal y en el reprocesamiento del combustible nuclear). El ácido nítrico, si no es reducido, es una fuente significativa de N_2O atmosférico y constituye la fuente principal de emisiones de N_2O en la industria química. A pesar de que, a diferencia de otras emisiones provenientes de la producción de ácido nítrico, no existen tecnologías maduras especialmente diseñadas para destruir el N_2O (Perez-Ramirez *et al.*, 2003), en años recientes se han desarrollado un cierto número de tecnologías de reducción del N_2O durante la fabricación del ácido nítrico. Entre los ejemplos se incluyen un proceso de gases de cola en el cual tanto las emisiones de N_2O como las de NO pueden reducirse en forma simultánea (lo que requiere del aporte de amoníaco al gas de cola), una opción de tratamiento del gas de proceso que implica la descomposición catalítica directa inmediatamente después de los filtros catalíticos de platino y una opción de descomposición catalítica exhaustiva.

Existen dos tipos de planta de ácido nítrico: las plantas de presión única y las plantas de presión doble. En las plantas a presión única la oxidación y la absorción ocurren prácticamente a la misma presión y en las plantas de presión doble, la absorción tiene lugar a una presión más elevada que la de la etapa de oxidación.

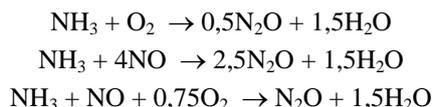
3.3.2 Cuestiones metodológicas

La producción de ácido nítrico implica tres reacciones químicas definidas que se pueden resumir de la manera siguiente:



La generación de óxido nitroso durante la producción de ácido nítrico no está bien documentada. Las etapas de oxidación del nitrógeno bajo condiciones generales de reacción de reducción se consideran fuentes potenciales de N_2O . Según la documentación, el óxido nítrico (NO), un producto intermedio de la producción de ácido nítrico, se descompone fácilmente a altas presiones en N_2O y en dióxido de nitrógeno (NO_2), en el intervalo de temperaturas que oscila entre 30 y 50 °C (Cotton y Wilkinson, 1988).

Perez-Ramirez *et al.* (2003; p.123), especifican tres reacciones intermedias que ocurren durante la oxidación del amoníaco y que pueden resultar en la formación de N_2O :



Las reacciones que conducen a la formación de N_2O ó N_2 son indeseables porque disminuyen la eficiencia de conversión del NH_3 y reducen el rendimiento del producto deseado, el NO (Perez-Ramirez *et al.*, 2003; p.124). No es posible definir una relación precisa entre la entrada de NH_3 y la formación de N_2O porque, en general, «la cantidad de N_2O formado depende de las condiciones de combustión, de la composición y el estado (envejecimiento) del catalizador y del diseño del quemador» (Perez-Ramirez *et al.*, 2003; p.123). Las emisiones

de N₂O dependen de la cantidad generada en el proceso de producción y de la cantidad destruida en todo proceso ulterior de reducción. La reducción del N₂O puede ser intencional, mediante la instalación de equipos diseñados para destruir N₂O, o bien, no intencional, en los sistemas diseñados para reducir otras emisiones tales como las de los óxidos de nitrógeno (NO_x).

Perez-Ramirez *et al.* (2003; p.126) clasifican los métodos de reducción como se indica a continuación y las medidas de reducción asociadas con cada método están bosquejadas en el Cuadro 3.2:

Las medidas de reducción primaria están orientadas a prevenir la formación del N₂O en el quemador de amoníaco. Esto implica la modificación del proceso de oxidación del amoníaco y/o del catalizador.

Las medidas de reducción secundaria eliminan el N₂O del flujo intermedio valioso, vale decir, de los gases NO_x que circulan entre el convertidor de amoníaco y la columna de absorción. Por lo general, esto implicará intervenir en el flujo a la temperatura más alta, inmediatamente después del catalizador de oxidación del amoníaco.

Las medidas de reducción terciaria implican un tratamiento para destruir el N₂O de los gases de cola que salen de la columna de absorción. La posición más prometedor para la reducción del N₂O se sitúa en el flujo que precede a la turbina de expansión de los gases de cola.

Las medidas de reducción cuaternaria corresponden a una pura solución de fin de flujo, en la cual el gas de cola es tratado a la salida de la turbina de expansión, en camino hacia la columna de venteo.

CUADRO 3.2 MÉTODOS DE REDUCCIÓN DEL N₂O Y MEDIDAS DE REDUCCIÓN	
Métodos de reducción	Medidas de reducción
Reducción primaria	Proceso de oxidación óptima Modificación de los filtros catalíticos de platino-rodio Catalizadores de combustión basados en óxidos
Reducción secundaria	Descomposición homogénea en el quemador Descomposición catalítica en el quemador (descomposición catalítica del gas de proceso) Descomposición catalítica en el flujo de salida del quemador (previo al paso por la columna de absorción)
Reducción terciaria	Descomposición térmica Reacción de reducción catalítica no selectiva (NSCR, del inglés <i>Non-Selective Catalytic Reduction</i>) Descomposición catalítica del gas de cola Reacción de reducción catalítica selectiva (SCR, del inglés <i>Selective Catalytic Reduction</i>)
Reducción cuaternaria	Reacción de reducción catalítica no selectiva (NSCR) Descomposición catalítica Reacción de reducción catalítica selectiva (SCR)
Fuente: Adaptado de Perez-Ramirez <i>et al.</i> (2003).	

La reducción alcanzada dependerá de la tecnología implementada con las medidas terciarias que se considera «permiten alcanzar altos niveles de eliminación del N₂O (>99 por ciento)» (Perez-Ramirez *et al.*, 2003; p.136). Además, se señala que, si bien la medida de NSCR es una tecnología probada para la reducción de N₂O, el reemplazo de sistemas NSCR por sistemas SCR para reducir el NO_x produce un efecto secundario negativo al aplicarlo a la reducción del N₂O. Más aún, « es muy probable que la NSCR ya no sea viable en la actualidad, debido a sus altos niveles de consumo de combustible y a sus elevadas emisiones secundarias» (Perez-Ramirez *et al.*, 2003; p.137).

La adopción futura de tecnologías dependerá de la rentabilidad y de la rigurosidad de las normas sobre emisiones. Hay más soluciones rentables disponibles para las plantas nuevas que para las plantas existentes. Las soluciones para los gases de cola son atractivas pues no interfieren con el proceso. La descomposición directa de N₂O es una solución muy atractiva y rentable para las plantas donde los gases de cola alcanzan temperaturas superiores a los 449,85 °C (723 K). Sin embargo, dos tercios de las plantas de ácido nítrico de Europa trabajan con gases de cola a temperaturas más bajas. Para realizar este post tratamiento se requeriría el uso de reductores

(hidrocarburos livianos o amoníaco) o un precalentamiento, lo cual lo haría prohibitivo. La solución más elegante y rentable es la descomposición catalítica del gas de proceso, ubicada en el corazón de la planta (en el quemador de amoníaco). Esta solución de reducción presenta problemas relacionados con la estabilidad química y mecánica del catalizador así como con la posible pérdida de NO. Varios fabricantes de catalizadores y de ácido nítrico han abordado este problema y ya existen catalizadores que están en las primeras etapas de comercialización. En oposición a la solución de gas de cola, esta tecnología es ventajosa y puede ser aplicada retrospectivamente a todas las plantas existentes. Una discusión más extensa sobre alternativas de solución se encuentra en Perez-Ramirez *et al.* (2003).

3.3.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

La selección del método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales. En el árbol de decisión de la Figura 3.2 se describen *buenas prácticas* para adaptar los métodos a las circunstancias nacionales. Las emisiones pueden estimarse a partir de:

el monitoreo continuo de las emisiones (MCE) en el cual las emisiones se miden directamente en todo momento;

el monitoreo periódico de las emisiones que se efectúa durante un período representativo de la pauta acostumbrada de operación de la planta para derivar un factor de emisión que se multiplica por la salida (100 por ciento de HNO₃) para derivar las emisiones;

el muestreo irregular para derivar un factor de emisión que se multiplica por la salida (100 por ciento de HNO₃) para derivar las emisiones;

la multiplicación de la salida (100 por ciento de HNO₃) por un factor de emisión por defecto.

Los métodos se clasifican según la cantidad de datos que estén disponibles al nivel de la planta. Tanto el Nivel 2 como el Nivel 3 se basan en datos de la actividad al nivel de planta.

MÉTODO DE NIVEL 1

Las emisiones se estiman de la manera siguiente:

<p>ECUACIÓN 3.5</p> <p>EMISIONES DE N₂O DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO – NIVEL 1</p> $E_{N_2O} = EF \cdot NAP$
--

Donde:

E_{N_2O} = emisiones de N₂O, kg.

EF = factor de emisión de N₂O (por defecto), kg. de N₂O/toneladas de ácido nítrico producido

NAP = producción de ácido nítrico, toneladas

Cuando se aplica el método de Nivel 1, es una *buena práctica* suponer que no hay reducción de las emisiones de N₂O y utilizar el mayor factor de emisión por defecto presentado en el Cuadro 3.3, según el tipo de tecnología

MÉTODO DE NIVEL 2

Hay un gran número de plantas de ácido nítrico (las estimaciones van de 255 a 600 plantas, según Choe *et al.*, 1993; Bockman y Granli, 1994) que presentan variaciones sustanciales en los factores de generación de N₂O entre los tipos de planta. Por consiguiente, pueden necesitarse más frecuentemente los factores por defecto para las estimaciones de emisiones de N₂O del ácido nítrico. Allí donde se utilicen los valores por defecto para estimar las emisiones provenientes de la producción de ácido nítrico, es una *buena práctica* clasificar las plantas por categorías según el tipo y emplear factores de generación de N₂O apropiados.

El método de Nivel 2 utiliza datos de producción del nivel de la planta desagregados por tipo de tecnología y de factores de emisión por defecto clasificados por tipo de tecnología. Las emisiones se calculan de la manera siguiente:

ECUACIÓN 3.6**EMISIONES DE N₂O PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO – NIVEL 2**

$$E_{N_2O} = \sum_{i,j} [EF_i \cdot NAP_i \cdot (1 - DF_j \cdot ASUF_j)]$$

Donde:

E_{N_2O} = emisiones de N₂O, kg.

EF_i = factor de emisión de N₂O para la tecnología de tipo i , kg. de N₂O/toneladas de ácido nítrico producido

NAP_i = producción de ácido nítrico de la tecnología de tipo i , toneladas

DF_j = factor de destrucción para la tecnología de reducción de tipo j , fracción

$ASUF_j$ = factor de utilización del sistema de reducción para la tecnología de reducción de tipo j , fracción

Nótese que los factores de emisión por defecto presentados en el Cuadro 3.3 incluyen, donde es pertinente, el impacto de la tecnología de reducción sobre las emisiones. Para usar estos factores, los compiladores del inventario deben verificar que la tecnología de reducción esté instalada en las plantas individuales y en funciones a lo largo del año.

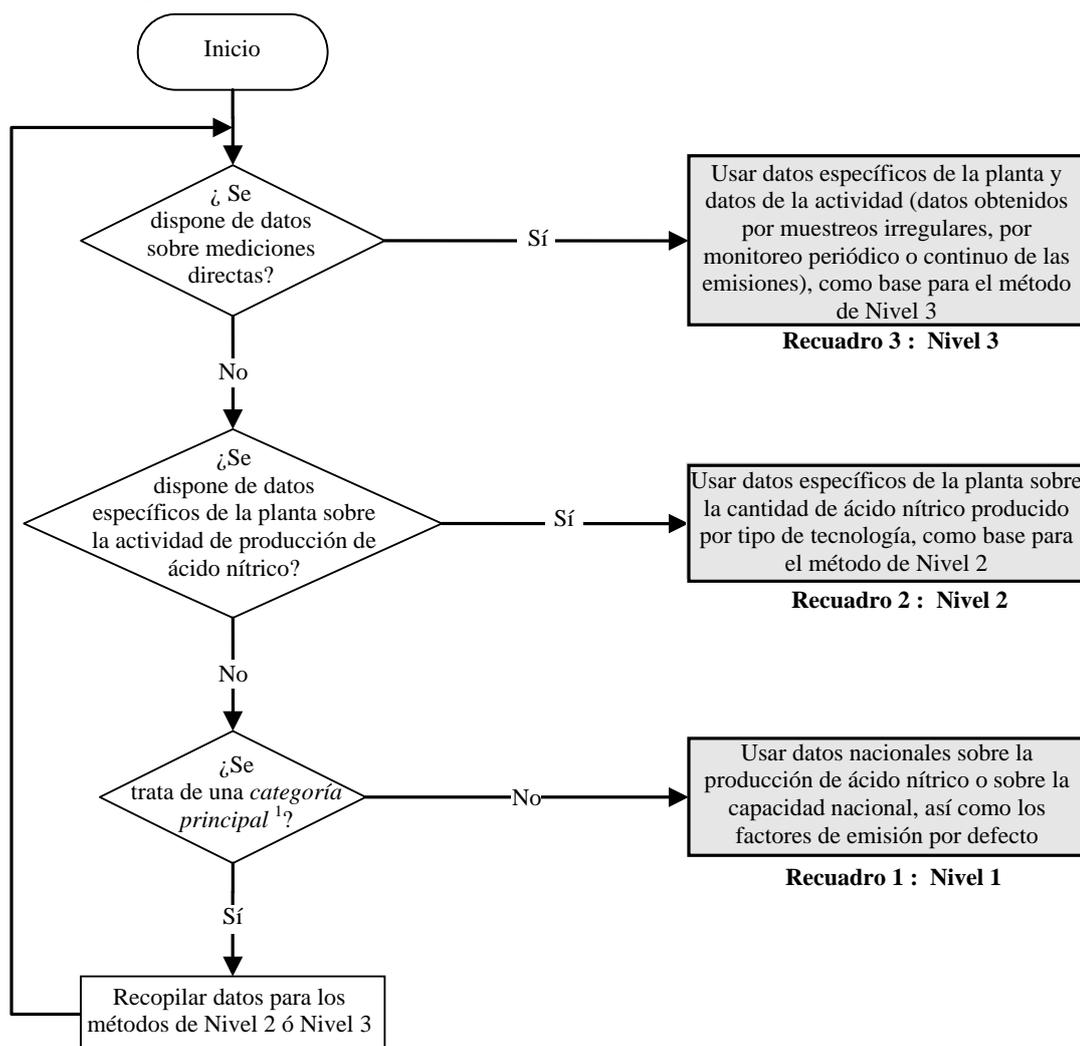
La ecuación básica para estimar las emisiones de N₂O incluye términos adicionales que contemplan el probable uso futuro de tecnologías de reducción de N₂O. El factor de destrucción de N₂O debe multiplicarse por un factor de utilización del sistema de reducción con el fin de dar cuenta de toda inactividad de los equipos de reducción (vale decir, de los períodos en que los equipos no trabajan).

MÉTODO DE NIVEL 3 – MEDICIÓN DIRECTA

Mientras que en el método de Nivel 2 se aplican factores de emisión específicos por tecnología que reflejan la mezcla de tecnologías al nivel nacional, el método de Nivel 3 se basa en datos de la medición efectiva (p. ej., CEMS) de producción al nivel de plantas, desagregados por tipo de tecnología, y en factores de emisión al nivel de plantas obtenidos de la medición directa de las emisiones. Estos datos pueden derivarse del muestreo irregular de las emisiones de N₂O o del monitoreo periódico de las emisiones de N₂O efectuado durante uno o varios periodo(s) que reflejan la pauta acostumbrada del funcionamiento de la planta. Las emisiones pueden derivarse mediante la Ecuación 3.6.

Como alternativa, en el método de Nivel 3 se utilizan los resultados del monitoreo continuo de las emisiones (MCE), aunque ha de notarse que es poco probable, debido a su alto costo, que la mayor parte de las plantas lo apliquen. Allí donde se aplique el MCE, pueden estimarse las emisiones basándose en la suma de las emisiones de N₂O medidas y derivadas de la concentración de N₂O en las emisiones monitoreadas para cada intervalo de monitoreo registrado.

Figura 3.2 **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de ácido nítrico**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

3.3.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

MÉTODO DE NIVEL 1

Es una *buena práctica* emplear el factor de emisión más elevado presentado en el Cuadro 3.3, basándose en el tipo de tecnología y suponer que no hay reducción de las emisiones de N₂O.

MÉTODO DE NIVEL 2

Si no se dispone de factores del nivel de la planta, es una *buena práctica* emplear factores por defecto. Por lo general, estos factores representan valores medios o medianos de conjuntos de datos (determinados mediante análisis de expertos). Se desconoce en qué medida éstos representan los índices de emisión de una planta específica. Los factores por defecto del Cuadro 3.3 deben usarse sólo en aquellos casos en los que no se disponga de mediciones específicas de la planta.

El Cuadro 3.3 incluye factores de emisión para el N₂O e incertidumbres asociadas. Los factores enumerados en el Cuadro 3.3 para las plantas que utilizan la reducción catalítica no selectiva (NSCR, del inglés, *non-selective catalytic reduction*) (una tecnología de reducción de NO_x que puede adaptarse para reducir también el N₂O), integra ya el efecto de las medidas de reducción del N₂O. Para usar estos factores, los compiladores del inventario deben verificar que la tecnología de reducción esté instalada en las plantas individuales y en funciones a lo largo del año.

MÉTODO DE NIVEL 3

Las mediciones en las plantas proporcionan los datos más rigurosos para calcular las emisiones netas (esto es, los factores de generación y destrucción de N_2O). El monitoreo de las emisiones de N_2O de la producción de ácido nítrico es práctico pues éstas se producen en fuentes por puntos y hay un número limitado de plantas de producción. Dadas las tecnologías actualmente disponibles, la instrumentación de muestreo y monitoreo de los índices de emisión no limitan la precisión ni la exactitud de la medición global. Para evitar errores y alcanzar el nivel deseado de exactitud, en general bastan las frecuencias de muestreo y la oportunidad de las mediciones.

Como regla general, es una *buena práctica* efectuar muestreos y análisis cada vez que en una planta se implementa un cambio significativo en los procesos que pueda afectar el índice de emisión de N_2O o, en su defecto, con la frecuencia suficiente para garantizar que las condiciones de operación permanezcan constantes. Además, se debe consultar anualmente con los operadores de la planta para determinar cuáles son las tecnologías de destrucción específicas que se emplean y confirmar su uso, dado que las tecnologías pueden cambiar a través del tiempo. La medición precisa del índice de emisiones y de las eficiencias de reducción requiere efectuar medidas tanto de la corriente de salida como de la corriente no controlada. Si sólo se dispone de datos sobre la corriente de salida, la *buena práctica* consiste en basar las emisiones en estos datos. En este caso, toda estimación disponible sobre la eficiencia de reducción debe ser provista sólo con fines informativos, pero no debe usarse para calcular las emisiones.

CUADRO 3.3 FACTORES POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO	
Proceso de producción	Factor de emisión de N_2O (respecto del ácido puro a 100 por ciento)
Plantas con NSCR ^a (todos los procesos)	2 kg. de N_2O /tonelada de ácido nítrico $\pm 10\%$
Plantas con destrucción de N_2O integrada al proceso o al gas de cola	2,5 kg. de N_2O /tonelada de ácido nítrico $\pm 10\%$
Plantas a presión atmosférica (baja presión)	5 kg. de N_2O /tonelada de ácido nítrico $\pm 10\%$
Plantas de combustión a presión intermedia	7 kg. de N_2O /tonelada de ácido nítrico $\pm 20\%$
Plantas a alta presión	9 kg. de N_2O /tonelada de ácido nítrico $\pm 40\%$
Reacción de reducción catalítica no selectiva (NSCR, del inglés <i>Non-Selective Catalytic Reduction</i>) Fuente: van Balken (2005).	

3.3.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Es una *buena práctica* recopilar, donde sea posible, datos de producción con un nivel de detalle que permita el empleo de los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3. Los datos de la actividad deben basarse en 100 por ciento de HNO_3 ; es una *buena práctica* garantizar que todos los datos de producción declarados lo sean para un 100 por ciento de HNO_3 .

MÉTODO DE NIVEL 1

El método de Nivel 1 exige datos sobre la producción nacional de ácido nítrico. Las estadísticas nacionales sobre el ácido nítrico pueden omitir una parte sustancial del total nacional (véanse detalles en la Sección 3.3.2.4, Exhaustividad). Si no se dispone de datos de la actividad de nivel nacional, se puede utilizar la información sobre la capacidad de producción. Es una *buena práctica* multiplicar la capacidad total de producción nacional por un factor de utilización de la capacidad de 80 ± 10 por ciento (es decir, un intervalo entre 70 y 90 por ciento).

MÉTODO DE NIVEL 2

Para el método de Nivel 2 se requieren datos de producción al nivel de plantas desagregados por tipo de tecnología y por tipo de sistema de reducción. Es una *buena práctica* reunir datos de la actividad (producción) con un nivel de detalle coherente con el de cualquiera de los datos de generación y destrucción. Se supone que los datos típicos de producción al nivel de plantas poseen una incertidumbre de ± 2 por ciento debido al costo económico que significa obtener información más exacta.

MÉTODO DE NIVEL 3

Al igual que para el método de Nivel 2, se requieren datos de producción al nivel de plantas desagregados por tipo de tecnología y tipo de sistema de reducción. Es una *buena práctica* reunir datos de la actividad (producción) con un nivel de detalle coherente con el de cualquiera de los datos de generación y destrucción. Aun cuando, en los casos en que la estimación se basa en el CEM los datos de producción no se utilizan para estimar emisiones, éstos deben recopilarse y declararse para garantizar el monitoreo a través del tiempo de los cambios en las variables que influyen sobre las emisiones. Se supone que los datos típicos de producción al nivel de plantas poseen una incertidumbre de ± 2 por ciento debido al costo económico que significa obtener información exacta.

3.3.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Las estadísticas de producción de ácido nítrico compiladas nacionalmente pueden subestimar la producción. Los estudios que comparan las estadísticas mundiales obtenidas de datos nacionales sobre producción de ácido nítrico con las estimaciones industriales de la producción mundial indican que las estadísticas nacionales sólo dan cuenta de un 50 a un 70 por ciento del total (Bouwman *et al.*, 1995; Olivier, 1999). Esto se debe probablemente a que la producción de ácido nítrico está integrada como parte de un proceso más vasto, en el cual el ácido nítrico no entra nunca en el circuito comercial y no es contabilizado en las estadísticas nacionales. Es una *buena práctica* dar cuenta de estas fuentes mediante métodos tales como el de identificarlas mediante los registros nacionales sobre emisiones de NO_x, otro producto derivado no intencional de la producción de ácido nítrico.

Los sistemas NSCR y SCR, diseñados para reducir el N₂O, pueden generar emisiones adicionales de CO, CO₂ e hidrocarburos (CH₄ y COVDM). Estas emisiones dependerán del agente hidrocarburo reductor utilizado (metano (CH₄), propano (C₃H₈), propeno (C₃H₆), GPL). Las emisiones pueden estimarse basándose en la cantidad de agente reductor utilizado y en el carácter completo de la combustión. Se necesitará información al nivel de planta para permitir una estimación de las emisiones. Con el tiempo, y a medida que se disponga de más información, se podrán desarrollar factores por defecto, pero actualmente éstos no existen. En estas *Directrices* no se incluyen métodos para estimar estas emisiones; sin embargo, se alienta a los compiladores del inventario a investigar estas fuentes de emisiones y a desarrollar las metodologías adecuadas.

En general, en un país habrá pocas plantas de ácido nítrico y se sugiere que se calculen las emisiones a partir de datos específicos de las plantas. En aquellos países donde sólo un subconjunto de las plantas declara datos para el método de Nivel 3, o donde se da una transición del Nivel 2 hacia el Nivel 3, puede que no sea posible declarar emisiones utilizando el Nivel 3 para todas las instalaciones durante el período de transición. Si no están disponibles los datos necesarios para el método de Nivel 3 para todas las plantas, se puede usar el Nivel 2 para las plantas restantes. Igualmente, si sólo un subconjunto de las plantas declaran los datos necesarios para el método de Nivel 2, o si se da una transición del Nivel 1 hacia el Nivel 2, es posible que se pueda determinar la parte de la producción representada por las plantas que no declaran y usar esta información para estimar las emisiones restantes utilizando el Nivel 1, de modo que se garantice la exhaustividad durante el período de transición.

3.3.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Cada vez que se modifican los métodos de cálculo de emisiones, deben recalcularse las emisiones de N₂O para todos los años (p. ej., si el compilador del inventario cambia de un uso de los valores por defecto a un uso de valores efectivos determinados al nivel de la planta). Si no se dispone de datos específicos de la planta para todos los años de la serie temporal, será necesario considerar cómo pueden utilizarse los datos actuales para recalcular las emisiones de los años anteriores. Es posible que se puedan aplicar factores de emisión actuales específicos de planta a los datos de producción de los años anteriores, siempre y cuando no hayan cambiado de manera sustancial operaciones de la planta. La repetición de los cálculos es necesaria para garantizar que cualquier cambio en las tendencias de emisión corresponda a un efecto real y no a un artificio derivado de los cambios en el procedimiento de cálculo. Es una *buena práctica* recalcular la serie temporal según la orientación propuesta en el Volumen 1, Capítulo 5.

3.3.3 Evaluación de incertidumbre

3.3.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Las incertidumbres de los valores por defecto del Cuadro 3.3 son estimaciones basadas en el dictamen de expertos. En general, los factores de emisión por defecto para las sustancias gaseosas poseen incertidumbres superiores, pues los valores de masa de las sustancias gaseosas se ven influidos por las variaciones de temperatura y presión y porque los gases se pierden con mayor facilidad a través de las fugas. Los valores por defecto para la producción de ácido nítrico poseen un nivel relativamente alto de incertidumbre debido a dos razones. Primero, porque en la producción de ácido nítrico, puede generarse N_2O en la sección del filtro catalítico del reactor como un producto derivado no intencional (Cook, 1999). Segundo, porque los gases de escape pueden o no ser tratados para el control de NO_x y porque el sistema de reducción del NO_x puede o no reducir (o puede incluso aumentar) la concentración de N_2O del gas tratado¹. Es una *buena práctica* obtener estimaciones de incertidumbre al nivel de la planta, las cuales deberían ser menores que los valores de incertidumbre asociados a los valores por defecto.

3.3.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Allí donde los datos de la actividad hayan sido obtenidos de las plantas, las estimaciones de incertidumbre pueden obtenerse a través de los productores. Por lo general, los datos que se obtienen de los organismos nacionales de estadísticas no incluyen estimaciones de incertidumbre. Es una *buena práctica* consultar los organismos nacionales de estadísticas para obtener información sobre cualquier error de muestreo. Allí donde los organismos nacionales de estadísticas recopilan datos de la población de instalaciones de producción de ácido nítrico, no es de esperar que las incertidumbres en las estadísticas nacionales difieran de las incertidumbres establecidas a partir de consultas realizadas al nivel de las plantas. Cuando no se disponga de valores de incertidumbre provenientes de otras fuentes, se puede usar un valor por defecto de ± 2 por ciento. Para disminuir la incertidumbre, es una *buena práctica* garantizar que todos los datos de la actividad corresponden un 100 por ciento de HNO_3 .

3.3.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

3.3.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6. Si para determinar las emisiones se usan métodos de nivel superior, han de aplicarse verificaciones de control de calidad y procedimientos de garantía de calidad más completos. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos

Si se calculan las emisiones empleando datos de plantas individuales de ácido nítrico (método «de abajo hacia arriba»), los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones con las emisiones calculadas empleando los datos nacionales de producción (método «de arriba hacia abajo»). Deben registrar los resultados e investigar todas las discrepancias no explicadas.

Dado que las categorías de fuente del N_2O industrial son relativamente pequeñas comparadas con otras fuentes antropogénicas o naturales, no es factible comparar las emisiones con las tendencias medidas en la concentración de N_2O atmosférico.

Datos al nivel de planta

Los compiladores del inventario deben archivar suficiente información para permitir una revisión independiente de las emisiones de la serie temporal a partir del año de base y para explicar las tendencias en las emisiones al

¹ En algunos casos los procesos diseñados para reducir las emisiones de NO_x pueden resultar en la generación de N_2O adicional. Las concentraciones aumentadas de N_2O debidas a la tecnología de reducción del NO_x han sido medidas en varias centrales eléctricas que emplean la reacción de reducción no catalítica para el NO_x (Cook, 1999). Se sabe que, al menos para una planta de ácido nítrico, el control del NO_x produjo un aumento de las emisiones de N_2O (Burtscher, 1999).

realizar comparaciones históricas. Esto es particularmente importante en los casos en que la repetición de los cálculos es necesaria, por ejemplo, cuando un compilador cambia de un uso de valores por defecto hacia valores reales determinados al nivel de la planta.

Revisión de las mediciones directas de las emisiones

Si se dispone de mediciones de N₂O al nivel de planta, los compiladores deben confirmar que se han utilizado métodos estándar reconocidos internacionalmente. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces se debe evaluar el uso de tales datos de emisiones. Además, deben reconsiderar las estimaciones de la incertidumbre a la luz de los resultados de la GC/CC.

Los compiladores del inventario deben comparar los factores basados en la planta con los valores por defecto del IPCC para garantizar que los factores específicos de la planta sean razonables. Deben explicar y documentar todas las diferencias entre los factores específicos de planta y los factores por defecto y en particular, toda diferencia en las características de la planta que pueda conducir a estas diferencias.

3.3.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11.

A continuación se indican algunos ejemplos de documentación y generación de informes pertinentes para esta categoría de fuente:

Descripción del método utilizado;

Cantidad de plantas de ácido nítrico;

Factores de emisión;

Datos de la producción;

Capacidad de producción;

Cantidad de plantas que usan tecnologías de reducción;

Tipo de tecnología de reducción, eficiencia de destrucción y utilización;

Todas las demás hipótesis formuladas.

Los operadores de plantas deben proporcionar esta información al compilador del inventario para su compilación y también archivar la información en el sitio. Allí donde se efectúen mediciones en la planta, los operadores deben también registrar y archivar las frecuencias de medición y los registros de calibración de los instrumentos.

En los países donde haya sólo uno o dos productores, los datos de la actividad pueden ser considerados confidenciales. En este caso, los operadores y los compiladores del inventario deben determinar el nivel de agregación al cual puede declararse la información con una adecuada protección de la confidencialidad. En todo caso, la información detallada que incluya registros de instrumentación debe archivar al nivel de la planta.

No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias sobre los datos de fuentes, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que puedan ser reproducidas las etapas de su cálculo.

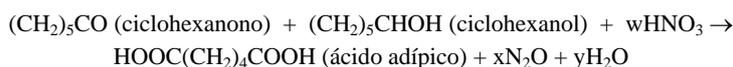
3.4 PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ADÍPICO

3.4.1 Introducción

El ácido adípico se emplea en la fabricación de un gran número de productos que incluyen las fibras sintéticas, los recubrimientos, los plásticos, las espumas de uretano, los elastómeros y los lubricantes sintéticos. La producción de Nilón 6.6 da cuenta del grueso del uso del ácido adípico. Como lo notara Hocking (1998; p.657), «Una gran parte de este consumo es directo, como para el ácido adípico en la fabricación de nilón 6.6, pero una fracción sustancial del ácido adípico se procesa ulteriormente para sintetizar hexametileno diamina, el otro monómero requerido. Otra fracción menor del ácido adípico se convierte en dioctil (di-2-etilhexil) o dihexil ésteres para usarlos como plastizantes en gradaciones flexibles de PVC, etc., o bien como componentes de aceites sintéticos de motores de alto punto de ebullición».

3.4.2 Cuestiones metodológicas

El ácido adípico es un ácido dicarboxílico fabricado a partir de una mezcla de ciclohexanono/ciclohexanol que se oxida mediante ácido nítrico en presencia de un catalizador para formar ácido adípico. El óxido nitroso (N₂O) se genera como un producto derivado no intencional de la etapa de oxidación con ácido nítrico.



El ácido adípico, si no es reducido, constituye una fuente significativa del N₂O atmosférico. Las emisiones de N₂O dependen de la cantidad generada en el proceso de producción y de la cantidad destruida en todo proceso ulterior de reducción. En las plantas de ácido adípico puede haber reducción intencional de N₂O mediante la instalación de equipos específicamente diseñados para destruirlo. De la producción de ácido adípico resultan también emisiones de CO₂, CO y NO_x. Las emisiones provenientes del proceso de producción de ácido adípico varían sustancialmente según el nivel de control implementado.

3.4.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

En el árbol de decisión de la Figura 3.3 se describen *buenas prácticas* para adaptar los métodos a las circunstancias nacionales. Las emisiones pueden estimarse a partir del monitoreo continuo de emisiones (MCE), en el cual éstas se miden directamente en todo momento; del monitoreo periódico de emisiones efectuado durante uno o más periodo(s) que refleje(n) la pauta acostumbrada de operación de la planta para derivar un factor de emisión que se multiplica por el valor de la salida para derivar las emisiones; mediante un muestreo irregular para derivar un factor de emisión que se multiplica por la salida para derivar las emisiones; o bien multiplicando un factor de emisión por defecto por la salida.

Los métodos se clasifican según la cantidad de datos que estén disponibles al nivel de la planta. Tanto en el Nivel 2 como en el Nivel 3, se requieren datos de la actividad al nivel de la planta.

MÉTODO DE NIVEL 1

Las emisiones se calculan de la siguiente manera:

ECUACIÓN 3.7
EMISIONES DE N₂O DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ADÍPICO – NIVEL 1

$$E_{N_2O} = EF \cdot AAP$$

Donde:

E_{N₂O} = emisiones de N₂O, kg.

EF = factor de emisión de N₂O (por defecto), kg. de N₂O/toneladas de ácido adípico producido

AAP = producción de ácido adípico, toneladas

Cuando se aplica el método de Nivel 1, es una *buena práctica* suponer que no hay reducción de las emisiones de N₂O y utilizar el mayor factor de emisión por defecto del Cuadro 3.4, según el tipo de tecnología.

MÉTODO DE NIVEL 2

En el método de Nivel 2 se usan datos de producción al nivel de planta y factores de emisión por defecto. Allí donde se utilicen valores por defecto para estimar las emisiones, es una *buena práctica* categorizar las plantas según el tipo de tecnología de reducción empleado y el factor de utilización de la tecnología de reducción. Las emisiones se calculan de la siguiente manera:

ECUACIÓN 3.8
EMISIONES DE N₂O DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ADÍPICO – NIVEL 2

$$E_{N_2O} = \sum_{i,j} [EF_i \cdot AAP_i \cdot (1 - DF_j \cdot ASUF_j)]$$

Donde:

E_{N₂O} = emisiones de N₂O, kg.

EF_i = factor de emisión de N₂O para la tecnología de tipo *i*, kg. de N₂O/toneladas de ácido adípico producido

AAP_i = producción de ácido adípico para la tecnología de tipo *i*, toneladas

DF_j = factor de destrucción para la tecnología de reducción de tipo *j*, fracción

ASUF_j = factor de utilización del sistema de reducción para la tecnología de reducción de tipo *j*, fracción

La ecuación básica para estimar las emisiones de N_2O incluye términos adicionales que consideran el uso de tecnologías de reducción de N_2O . El factor de destrucción de N_2O debe multiplicarse por un factor de utilización del sistema de reducción con el fin de dar cuenta de la inactividad de los equipos de reducción de emisiones (vale decir, de los períodos en que los equipos no trabajan).

Para alcanzar el grado máximo de exactitud, la *buena práctica* consiste en aplicar esta ecuación al nivel de planta, utilizando los factores de generación y destrucción de N_2O desarrollados a partir de datos de mediciones específicos de la planta. En este caso, el total nacional es igual a la suma de los totales de las plantas. Si no se dispone de información al nivel de planta, la *buena práctica* proporciona factores de generación y destrucción de N_2O por defecto, como se muestra en el Cuadro 3.4, Factores por defecto para la producción de ácido adípico, basados en las tecnologías de reducción implementadas. Para usar estos factores, los compiladores del inventario deben verificar que la tecnología de reducción esté instalada en las plantas individuales y en funciones a lo largo del año.

MÉTODO DE NIVEL 3 – MEDICIÓN DIRECTA

En el método de Nivel 3 se utilizan datos de producción al nivel de la planta y factores de emisión al nivel de planta obtenidos de la medición directa de las emisiones. Éstas pueden derivarse del muestreo irregular de emisiones de N_2O o del monitoreo periódico de emisiones de N_2O efectuados durante uno o más periodos(s) que refleje(n) la pauta acostumbrada de funcionamiento de la planta. Las emisiones pueden derivarse mediante la Ecuación 3.8. Para alcanzar el grado máximo de exactitud, la *buena práctica* consiste en aplicar esta ecuación al nivel de planta utilizando factores de generación y destrucción de N_2O desarrollados a partir de datos de mediciones específicos de la planta, donde sea pertinente. Dado la cantidad relativamente pequeña de plantas de ácido adípico (alrededor de 23 en el mundo, Choe *et al.*, 1993), obtener información específica de plantas requiere pocos recursos adicionales.

Como alternativa, en el método de Nivel 3 se utilizan los resultados del monitoreo continuo de las emisiones (MCE), aunque se observa que es poco probable, debido a su alto costo, que la mayor parte de las plantas lo apliquen. Allí donde se aplique el MCE, pueden estimarse las emisiones pueden estimarse basándose en la suma de las emisiones de N_2O derivadas de la concentración de N_2O en las emisiones monitoreadas para cada intervalo de monitoreo registrado.

3.4.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

MÉTODO DE NIVEL 1

Es una *buena práctica* usar el factor de emisión por defecto presentado en el Cuadro 3.4 y suponer que no hay reducción de las emisiones de N_2O .

MÉTODO DE NIVEL 2

Si no se dispone de factores al nivel de plantas, es una *buena práctica* emplear factores por defecto. El método de Nivel 2 está basado en el uso de factores de emisión por defecto. Estos valores por defecto representan generalmente valores medios o medianos de conjuntos de datos (determinados mediante análisis de expertos). Se desconoce en qué medida éstos representan los índices de emisión de una planta específica. Los factores por defecto del Cuadro 3.4 deben utilizarse sólo en aquellos casos en los que las mediciones específicas de plantas no estén disponibles.

En el Cuadro 3.4 se incluyen también factores de destrucción de N_2O para las tecnologías de reducción de uso común, junto con sus incertidumbres asociadas. Para emplear estos factores, los compiladores del inventario deben verificar que la tecnología de reducción esté instalada en las plantas individuales y en funciones a lo largo del año. Si no se logra determinar cuáles son las tecnologías de reducción en uso, se puede incurrir en la sobreestimación de las emisiones. La determinación de los valores apropiados requiere que las plantas estén clasificadas según la tecnología de reducción implementada.

MÉTODO DE NIVEL 3

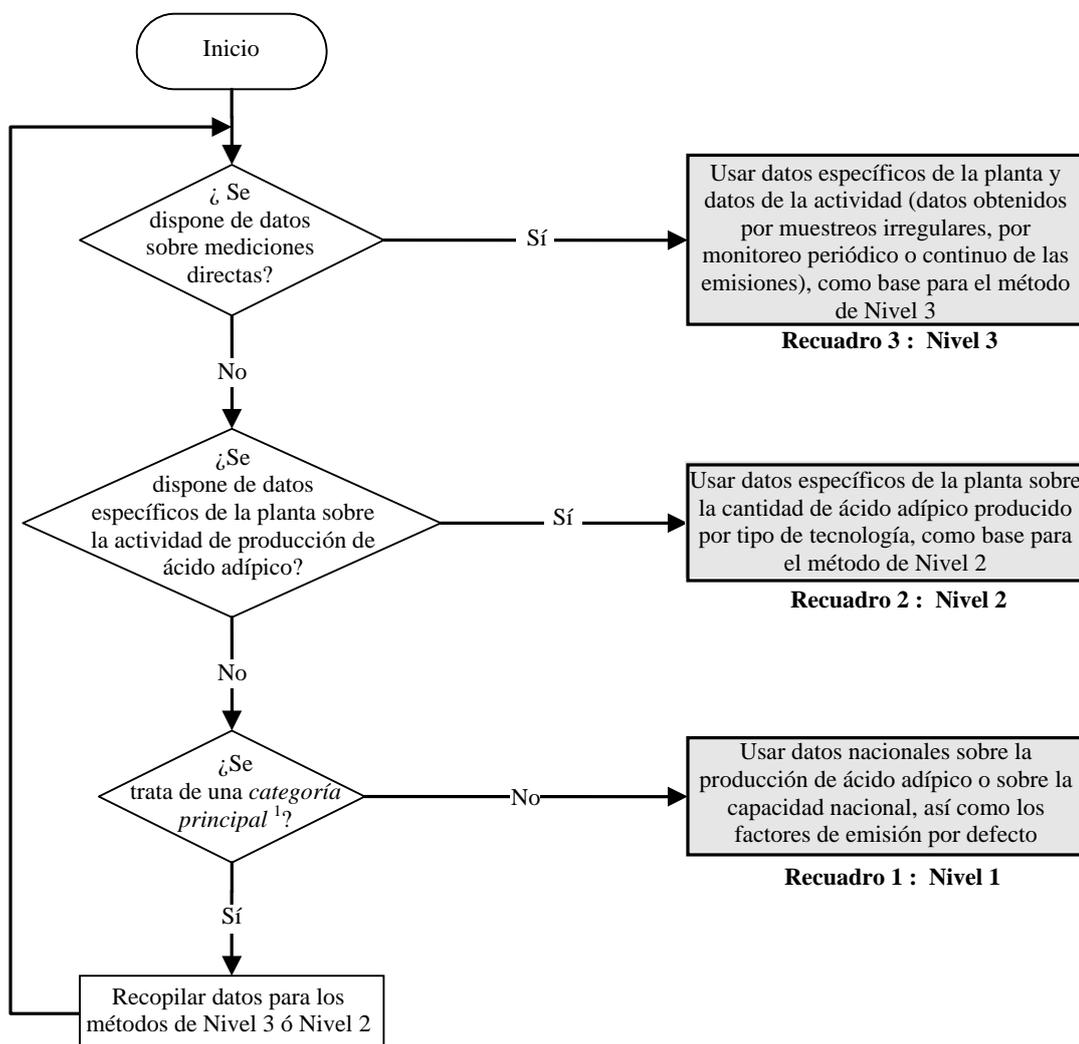
Para el método de Nivel 3 se requieren medidas realizadas en la planta. Si se utiliza el sistema de reducción de N_2O , las mediciones en las plantas proporcionan los datos más rigurosos para calcular las emisiones netas (esto es, los factores de generación y destrucción de N_2O). El monitoreo de las emisiones de N_2O de la producción de ácido adípico es práctico pues éstas se producen en fuentes por puntos y hay un número limitado de plantas de producción. Dadas las tecnologías disponibles en la actualidad, los instrumentos de muestreo y monitoreo de los índices de emisión no limitan la precisión ni la exactitud de la medición global. Para evitar errores sistemáticos y alcanzar el nivel deseado de exactitud, en general bastan las frecuencias de muestreo y la oportunidad de las mediciones.

Allí donde el sistema de reducción del N_2O no esté en funciones, se puede obtener un factor de emisión específico de la planta a partir del monitoreo periódico de las emisiones, el cual se multiplica por el nivel de producción para estimar las emisiones al nivel de la planta.

Como regla general, es una *buena práctica* efectuar muestreos y análisis cada vez que en una planta se implementa un cambio significativo que pueda afectar el índice de emisión de N_2O o, en su defecto, con la frecuencia suficiente para garantizar que las condiciones de operación permanezcan constantes. Además, se debe consultar anualmente con los operadores de la planta para determinar cuáles son las tecnologías de destrucción específicas que se emplean y confirmar su uso, dado que las tecnologías pueden cambiar a través del tiempo. La medición precisa del índice de emisiones y de las eficiencias de reducción exige efectuar medidas tanto de la corriente de salida como de la corriente no controlada. Si sólo se dispone de datos sobre la corriente de salida, la *buena práctica* consiste en basar las emisiones en estos datos. En este caso,

toda estimación disponible sobre la eficiencia de reducción debe ser provista sólo a los fines informativos, pero no debe usarse para calcular las emisiones.

Figura 3.3 **Árbol de decisión para estimar las emisiones de N₂O provenientes de la producción de ácido adípico**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

CUADRO 3.4 FACTORES POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ADÍPICO		
Proceso de producción	Factor de generación de N ₂ O ^{a,d}	Estimación de la incertidumbre
Oxidación con ácido nítrico	300 kg./tonelada de ácido adípico (no controlado)	± 10% (basado en dictamen de expertos). El intervalo de 300 kg. ± 10% abarca la variabilidad de la alimentación al proceso desde la cetona pura hasta el alcohol puro, con la mayoría de los fabricantes situados alrededor de la media. ^a
Tecnología de reducción	Factor de destrucción ^b de N ₂ O	Estimación de la incertidumbre

Destrucción catalítica	92,5%	90-95% (basado en dictamen de expertos). Entre los fabricantes conocidos como utilizadores de esta tecnología, se incluyen: BASF (Scott, 1998), y DuPont (Reimer, 1999b).
Destrucción térmica	98,5%	98-99% (basado en dictamen de expertos). Entre los fabricantes conocidos como utilizadores de esta tecnología, se incluyen: Asahi, DuPont, Bayer, y Solutia (Scott, 1998).
Reciclado hacia el ácido nítrico	98,5%	98-99% (basado en dictamen de expertos). Entre los fabricantes conocidos como utilizadores de esta tecnología, se incluyen: Alsachemie (Scott, 1998).
Reciclado hacia la alimentación al proceso del ácido adípico	94%	90-98% (basado en dictamen de expertos). Solutia implementaba esta tecnología alrededor de 2002.
Sistema de reducción	Factor de utilización^d	Estimación de la incertidumbre
Destrucción catalítica	89%	80-98% (basado en dictamen de expertos) ^c .
Destrucción térmica	97%	95-99% (basado en dictamen de expertos) ^c .
Reciclado hacia el ácido nítrico	94%	90-98% (basado en dictamen de expertos) ^c .
Reciclado hacia el ácido adípico	89%	80-98% (basado en dictamen de expertos) ^c .
<p>^a Considerando un valor proporcionado por la <i>Japan Environment Agency</i> (Agencia medioambiental del Japón) (1995) (282 kg. de N₂O/tonelada de ácido adípico); se estima que este fabricante utiliza la oxidación de ciclohexanol (alcohol) puro en vez de la mezcla de cetona-alcohol (Reimer <i>et al.</i>, 1999). Que se sepa, ésta es la única planta que utiliza este método.</p> <p>^b El factor de destrucción (que representa la eficiencia de reducción de la tecnología) debe multiplicarse por un factor de utilización del sistema.</p> <p>^c Nótese que estos valores por defecto se basan en un dictamen de expertos y no en datos suministrados por la industria sobre mediciones específicas de las plantas. Durante los primeros 1 a 5 años de implementación de la tecnología de reducción, el factor de utilización tiende a situarse en el extremo inferior del intervalo. Una menor utilización del equipo resulta típicamente de la necesidad de aprender a operar el sistema de reducción y de una mayor incidencia de los problemas de mantenimiento que ocurren durante la fase inicial. Después de unos 1 a 5 años, mejora la experiencia de operación y el factor de utilización tenderá a situarse en el extremo superior del intervalo.</p> <p>Fuente: ^d Thiemans y Trogler (1991). ^e Reimer (1999b).</p>		

3.4.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Es una *buena práctica* recopilar, donde sea posible, datos de producción con un nivel de detalle que permita el empleo de los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3.

MÉTODO DE NIVEL 1

Para el método de Nivel 1 se requieren datos sobre la producción nacional de ácido adípico. Si no se dispone de datos de la actividad de nivel nacional, se puede utilizar la información sobre la capacidad de producción. Es una *buena práctica* multiplicar el total de la capacidad de producción nacional por un factor de utilización de la capacidad de 80 ± 10 por ciento (es decir, un intervalo entre 70 y 90 por ciento).

MÉTODO DE NIVEL 2

Para el método de Nivel 2 se requieren datos de producción al nivel de plantas desagregados por tipo de tecnología y por tipo de sistema de reducción. Es una *buena práctica* reunir datos de la actividad (producción) con un nivel de detalle coherente con el de cualquiera de los datos de generación y destrucción. Los datos típicos de producción al nivel de plantas son exactos dentro de un ± 2 por ciento debido al costo económico que significa obtener información más exacta.

MÉTODO DE NIVEL 3

Al igual que para el Nivel 2, cuando las estimaciones de emisiones se derivan empleando datos de muestreo irregular o periódico de las emisiones, se requieren datos al nivel de planta desagregados por tecnología de

reducción. Es una *buena práctica* reunir datos de la actividad (producción) con un nivel de detalle coherente con el de cualquiera de los datos de generación y destrucción. Aun cuando en los casos en que la estimación se basa en el CEM los datos de producción no se utilizan para estimar emisiones, éstos deben recopilarse y declararse para garantizar que los cambios en las variables que influyen sobre las emisiones pueden monitorearse en el transcurso del tiempo. Los datos típicos de producción al nivel de plantas son exactos dentro de un ± 2 por ciento debido al costo económico que significa obtener información más exacta.

3.4.2.4 EXHAUSTIVIDAD

La cobertura completa de la categoría de fuente del ácido adípico es muy simple debido al escaso número de plantas, las cuales son fácilmente identificables.

3.4.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Cada vez que se cambien los métodos de cálculo, las emisiones de N_2O deben recalcularse para todos los años (p. ej., si el compilador del inventario cambia de un uso de valores por defecto a un uso de valores efectivos determinados al nivel de la planta). Si no se dispone de datos específicos de la planta para todos los años de la serie temporal, será necesario considerar cómo pueden utilizarse los datos actuales para recalcular las emisiones de los años anteriores. Es posible que se puedan aplicar factores de emisión actuales específicos de planta a los datos de producción de los años anteriores, siempre y cuando operaciones de la planta no hayan cambiado de manera sustancial. La repetición de los cálculos es necesaria para garantizar que cualquier cambio en las tendencias de emisión corresponda a un efecto real y no a un artificio derivado de los cambios en el procedimiento de cálculo. Es una *buena práctica* recalcular la serie temporal según la orientación propuesta en el Volumen 1, Capítulo 5.

3.4.3 Evaluación de incertidumbre

3.4.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Las incertidumbres de los valores por defecto presentados en el Cuadro 3.4 son estimaciones basadas en el dictamen de expertos. En general, los factores de emisión por defecto para el ácido adípico están determinados con relativa certeza pues se derivan de la estequiometría de una reacción química planeada (oxidación del ácido nítrico) y de sistemas de reducción específicos para el N_2O . La incertidumbre en el factor de emisión para el ácido adípico representa una variabilidad en la generación de N_2O debido a diferencias en la composición de la alimentación al proceso en ciclohexanono y ciclohexanol (esto es, cetona y alcohol) utilizada por los diferentes fabricantes. Un mayor contenido de cetona produce un aumento de la generación de N_2O , mientras que un mayor contenido de alcohol resulta en una disminución (Reimer, 1999a). En dependencia del proceso y basándose en el consumo de ácido nítrico (HNO_3), en una planta individual es posible determinar la producción de N_2O dentro de un margen del 1 por ciento. Las incertidumbres de los valores por defecto se presentan en el Cuadro 3.4.

3.4.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Las emisiones potenciales de N_2O por tonelada métrica producida son mucho mayores para la producción de ácido adípico que para otras fuentes industriales de N_2O . Con las mediciones obtenidas mediante un sistema de monitoreo adecuadamente mantenido y calibrado se pueden determinar las emisiones, usando la Ecuación 3.8, dentro de un margen de error de ± 5 por ciento con un nivel de confianza del 95 por ciento. Dado el pequeño número de plantas de ácido adípico, la incertidumbre en los datos de producción nacional (Nivel 1) es la misma que la de los datos al nivel de plantas, vale decir, de ± 2 por ciento.

3.4.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

3.4.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, y procedimientos

adicionales de garantía de calidad, en particular, si al determinar las emisiones provenientes de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Además de las orientaciones del Volumen 1, se delinear a continuación los procedimientos específicos que son pertinentes para esta categoría de fuente.

Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos

Si las emisiones se calculan empleando datos de plantas individuales de ácido nítrico (método «de abajo hacia arriba»), los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones con la emisiones calculadas empleando los datos nacionales de producción (método «de arriba hacia abajo»). Deberán registrar los resultados e investigar todas las discrepancias inexplicadas.

Dado que las categorías de fuente del N₂O industrial son relativamente pequeñas comparadas con otras fuentes antropogénicas o naturales, no es factible comparar las emisiones con las medidas de las tendencias en la concentración de N₂O atmosférico.

Datos al nivel de planta

Los compiladores del inventario deben archivar suficiente información para permitir una revisión independiente de las emisiones de las series temporales a partir del año de base y para explicar las tendencias en las emisiones al realizar comparaciones históricas. Esto es particularmente importante en los casos en que la repetición de los cálculos es necesaria; por ejemplo, cuando un compilador de inventario cambia de un uso de valores por defecto hacia valores efectivos determinados al nivel de la planta.

Revisión de las mediciones directas de emisiones

Si se dispone de mediciones de N₂O al nivel de planta, los compiladores del inventario deben confirmar que se han utilizado métodos estándar reconocidos internacionalmente. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces se debe evaluar el uso de tales datos de emisiones. Además, deben reconsiderar las estimaciones de la incertidumbre a la luz de los resultados de la GC/CC.

Se alienta a los compiladores del inventario a comparar los factores basados en la planta con los valores por defecto del IPCC para garantizar que los factores específicos de la planta son razonables. Deben explicar y documentar todas las diferencias entre los factores específicos de planta y los factores por defecto y en particular, toda diferencia en las características de la planta que pueda conducir a estas diferencias.

3.4.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11.

A continuación se indican algunos ejemplos de documentación y generación de informes pertinentes para esta categoría de fuente:

Descripción del método utilizado;

Número de plantas de ácido adípico;

Factores de emisión;

Datos de producción;

Capacidad de producción;

Número de plantas que usan tecnologías de reducción;

Tipo de tecnología de reducción, eficiencia de destrucción y utilización;

Todas las hipótesis adicionales formuladas.

Los operadores de plantas deben suministrar esta información al compilador del inventario para su compilación y también archivar la información en el sitio. Allí donde se efectúen mediciones en la planta, los operadores deben también registrar y archivar las frecuencias de medición y los registros de calibración de los instrumentos.

En los países donde haya sólo uno o dos productores, los datos de la actividad pueden ser considerados confidenciales. En este caso, los operadores y los compiladores del inventario deben determinar el nivel de agregación al cual la información podrá ser declarada con una adecuada protección de la confidencialidad. En todo caso, la información detallada que incluye registros de instrumentación debe archiversse al nivel de la planta.

No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias sobre las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

3.5 PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA, GLIOXAL Y ÁCIDO GLIOXÍLICO

3.5.1 Introducción

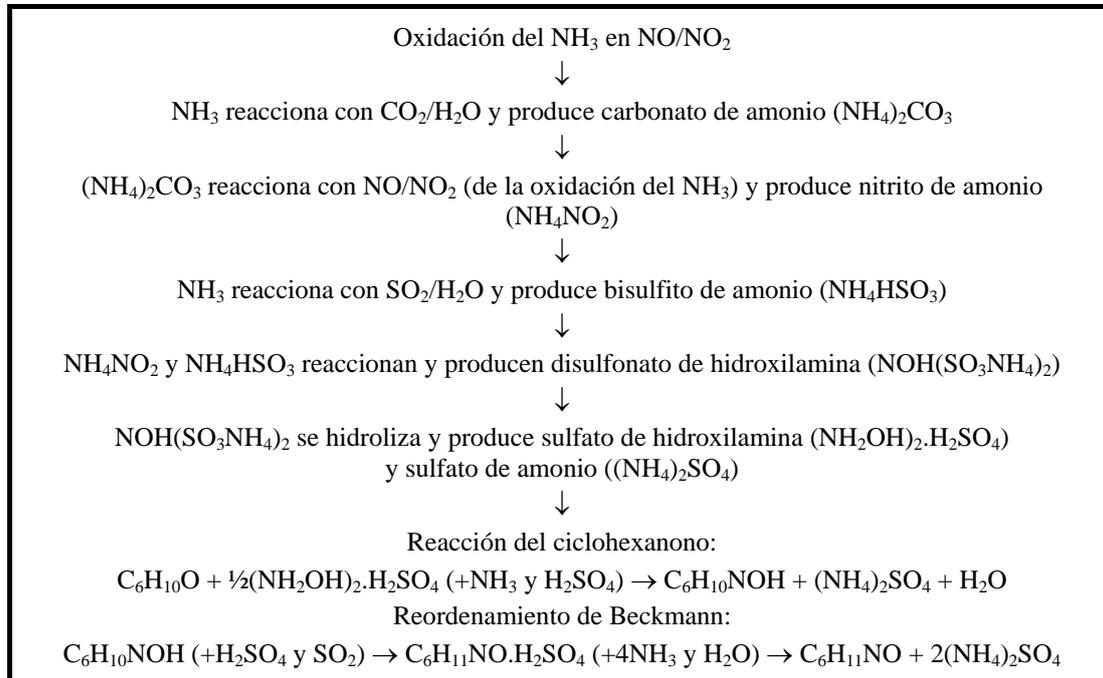
En esta sección se aborda la producción de tres productos químicos —caprolactama, glioxal y ácido glioxílico— que son importantes fuentes potenciales de emisiones de óxido nitroso en los países donde se producen estos productos químicos. La metodología para el caprolactama se discute en detalle y es adecuada para aplicarla a la estimación de las emisiones provenientes del glioxal y del ácido glioxílico. En la Sección 3.5.3 se bosquejan los procesos de producción para el glioxal y el ácido glioxílico que generan emisiones de N_2O . Los valores por defecto para los factores de generación, los factores de destrucción y los factores de emisión que se proporcionan están basados en informaciones provenientes de Clariant (Francia) (Babusiaux, 2005).

3.5.2 Caprolactama

Casi toda la producción anual de caprolactama ($C_6H_{11}NO$) se consume como monómero de fibras de nilón-6 y de plásticos (Kirk-Othmer, 1999; p.310), con una proporción sustancial en la fibra usada para fabricar alfombras. Los procesos comerciales de fabricación de caprolactama se basan en el tolueno o en el benceno.

3.5.2.1 CUESTIONES METODOLÓGICAS

Donde se produce caprolactama a partir del benceno en el proceso principal, el benceno es hidrogenado en ciclohexano, el cual se oxida luego para producir ciclohexanono ($C_6H_{10}O$). La vía clásica (proceso Raschig) y las ecuaciones de las reacciones básicas para la producción de ciclohexanono son (Reimschuessel, 1977; p.83; Lowenheim y Moran, 1975; p. 201):



Lowenheim y Moran (1975; p. 202) resumen el proceso Raschig de producción como sigue. El caprolactama se produce vía el reordenamiento de Beckmann (conversión de una cetona oxima en una amida, generalmente usando ácido sulfúrico como catalizador) por adición de sulfato de hidroxilamina al ciclohexanono. El sulfato de hidroxilamina se produce a partir del nitrato de amonio y del dióxido de azufre. El convertidor se alimenta con gas de amoníaco y aire, y allí el amoníaco se convierte en disulfonato de hidroxilamina por contacto en serie con carbonato de amonio y dióxido de azufre. El carbonato de amonio se produce disolviendo amoníaco y dióxido de

carbono en agua y el dióxido de azufre por quema del azufre. El disulfonato es hidrolizado en sulfato de hidroxilamina y sulfato de amonio. La adición de sulfato de hidroxilamina al ciclohexanono produce ciclohexanona oxima que se convierte en caprolactama por el reordenamiento de Beckmann.

La producción de caprolactama puede generar emisiones de óxido nitroso (N_2O) provenientes de la etapa de oxidación del amoníaco, emisiones de CO_2 de la etapa del carbonato de amonio, emisiones de dióxido de azufre de la etapa del bisulfito de amonio y emisiones de compuestos COVDM. Es poco probable que las emisiones de CO_2 , SO_2 y COVDM a partir del proceso convencional sean significativas en las plantas bien controladas. El principal gas de efecto de invernadero de la producción de caprolactama que se debe contabilizar es el N_2O . Los procesos modificados de producción de caprolactama se concentran esencialmente en la eliminación de los elevados volúmenes de sulfato de amonio que se genera como producto derivado del proceso convencional (Reimschuessel, 1977; p.84). La oxidación del NH_3 forma parte integrante de todos los procesos para obtener el NO/NO_2 requerido.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La estimación de emisiones de N_2O de la producción de caprolactama puede tratarse de manera análoga a la estimación de emisiones de N_2O de la producción de ácido nítrico. Ambos procesos de producción comprenden una etapa inicial de oxidación de NH_3 que es la fuente de la formación de N_2O y de las emisiones.

La selección del método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales. En el árbol de decisión de la Figura 3.4 se describen *buenas prácticas* para adaptar los métodos a las circunstancias nacionales. Las emisiones pueden estimarse a partir del monitoreo continuo de emisiones (CEM), en el cual éstas se miden directamente en todo momento; del monitoreo periódico de emisiones efectuado durante uno o más periodo(s) que refleje(n) la pauta acostumbrada de operación de la planta para derivar un factor de emisión que se multiplica por el valor de la salida; mediante un muestreo irregular para derivar un factor de emisión que se multiplica por la salida para derivar las emisiones; o bien multiplicando un factor de emisión por defecto por la salida.

Los métodos se clasifican según la cantidad de datos que estén disponibles al nivel de la planta. Tanto el Nivel 2 como el Nivel 3 requieren datos de la actividad al nivel de la planta.

Método de nivel 1

Las emisiones se calculan de la manera siguiente:

<p>ECUACIÓN 3.9</p> <p>EMISIONES DE N_2O DE LA PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA – NIVEL 1</p> $E_{N_2O} = EF \cdot CP$

Donde:

E_{N_2O} = emisiones de N_2O , kg.

EF = factor de emisión de N_2O (por defecto), kg. de N_2O /toneladas de caprolactama producido

CP = producción de caprolactama, toneladas

Cuando se aplica el método de Nivel 1, es una *buena práctica* suponer que no hay reducción de las emisiones de N_2O y utilizar el factor de emisión por defecto más elevado del Cuadro 3.5, según el tipo de tecnología.

Método de nivel 2

La información sobre emisiones proveniente de la producción de caprolactama y de las tecnologías de control es limitada. Allí donde no se disponga de información al nivel de planta, la *buena práctica* proporciona factores de generación de N_2O por defecto, como se muestra en el Cuadro 3.5. Los factores por defecto se basan en las emisiones de N_2O de las plantas de ácido nítrico pues no existe información sobre las plantas de caprolactama y porque la etapa de la reacción inicial de oxidación del amoníaco es similar en ambos procesos. La *buena práctica* alienta al desarrollo de factores específicos para las plantas de caprolactama.

El número de plantas de caprolactama es relativamente reducido (alrededor de 42 plantas, entre las cuales unas 19 utilizan la tecnología DSM (Stamicarbon)). Es poco probable que haya variaciones sustanciales en los factores de generación de N_2O entre las diferentes plantas. Allí donde se utilicen valores por defecto para estimar las emisiones provenientes de la producción de caprolactama, es una *buena práctica* clasificar las plantas por categorías según el tipo y emplear un factor de generación de N_2O apropiado.

El método de Nivel 2 utiliza datos de producción al nivel de plantas desagregados por tipo de tecnología y factores de emisión por defecto clasificados por tipo de tecnología. Las emisiones se calculan de la manera siguiente:

ECUACIÓN 3.10
EMISIONES DE N₂O DE LA PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA – NIVEL 2

$$E_{N_2O} = \sum_{i,j} [EF_i \cdot CP_i \cdot (1 - DF_j \cdot ASUF_j)]$$

Donde:

E_{N_2O} = emisiones de N₂O, kg.

EF_i = factor de emisión de N₂O para la tecnología de tipo i , kg. de N₂O/toneladas de caprolactama producido

CP_i = producción de caprolactama para la tecnología de tipo i , toneladas

DF_j = factor de destrucción para la tecnología de reducción de tipo j , fracción

$ASUF_j$ = factor de utilización del sistema de reducción para la tecnología de reducción de tipo j , fracción

La ecuación fundamental para estimar las emisiones de N₂O incluye términos adicionales que contemplan el probable uso futuro de tecnologías de reducción de N₂O. El factor de destrucción de N₂O debe multiplicarse por un factor de utilización del sistema de reducción con el fin de dar cuenta de todo ocio de los equipos de reducción (vale decir, de los períodos en que los equipos no están en funciones).

Allí donde no se disponga de información al nivel de planta, la *buena práctica* proporciona factores de generación y destrucción de N₂O por defecto, como se muestra en el Cuadro 3.5, Factores por defecto para la producción de caprolactama, basados en los tipos de planta clasificadas por antigüedad. Para alcanzar el grado máximo de exactitud, la *buena práctica* consiste en aplicar esta ecuación al nivel de planta utilizando los factores de generación y destrucción de N₂O desarrollados a partir de datos de mediciones específicos de la planta. En este caso, el total nacional es igual a la suma de los totales de las plantas.

EL Método de nivel 3 – medición directa

En el método de Nivel 3 se utilizan datos de producción al nivel de planta y factores de emisión al nivel de planta obtenidos de la medición directa de las emisiones. Éstas pueden derivarse del muestreo irregular de emisiones de N₂O o del monitoreo periódico de emisiones de N₂O efectuados durante uno o más periodos(s) que refleje(n) la pauta acostumbrada de operación de la planta. Las emisiones pueden derivarse mediante la Ecuación 3.10.

Como alternativa, en el método de Nivel 3 se utilizan los resultados del monitoreo continuo de las emisiones (CEM), aunque se observa que es poco probable, debido a su alto costo, que la mayor parte de las plantas apliquen el CEM. Allí donde se emplee el CEM, las emisiones pueden estimarse basándose en la suma de las emisiones de N₂O derivadas de la concentración de N₂O en las emisiones monitoreadas para cada intervalo de monitoreo registrado.

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Método de nivel 1

Es una *buena práctica* usar el factor de emisión por defecto presentado en el Cuadro 3.5 y suponer que no hay reducción de emisiones de N₂O.

Método de nivel 2

Si no se dispone de factores al nivel de plantas, es una *buena práctica* emplear factores por defecto. Para el método de Nivel 2 se usa un factor por defecto. Por lo general, los valores por defecto representan valores medios o medianos de conjuntos de datos (determinados mediante análisis de expertos). Se desconoce en qué medida éstos representan los índices de emisión de una planta específica. Esto es particularmente cierto para la producción de caprolactama, en que el valor está basado en el de las plantas de ácido nítrico de alta presión. Los factores por defecto del Cuadro 3.5 deben utilizarse sólo en aquellos casos en que los datos específicos de las plantas no estén disponibles.

Método de nivel 3

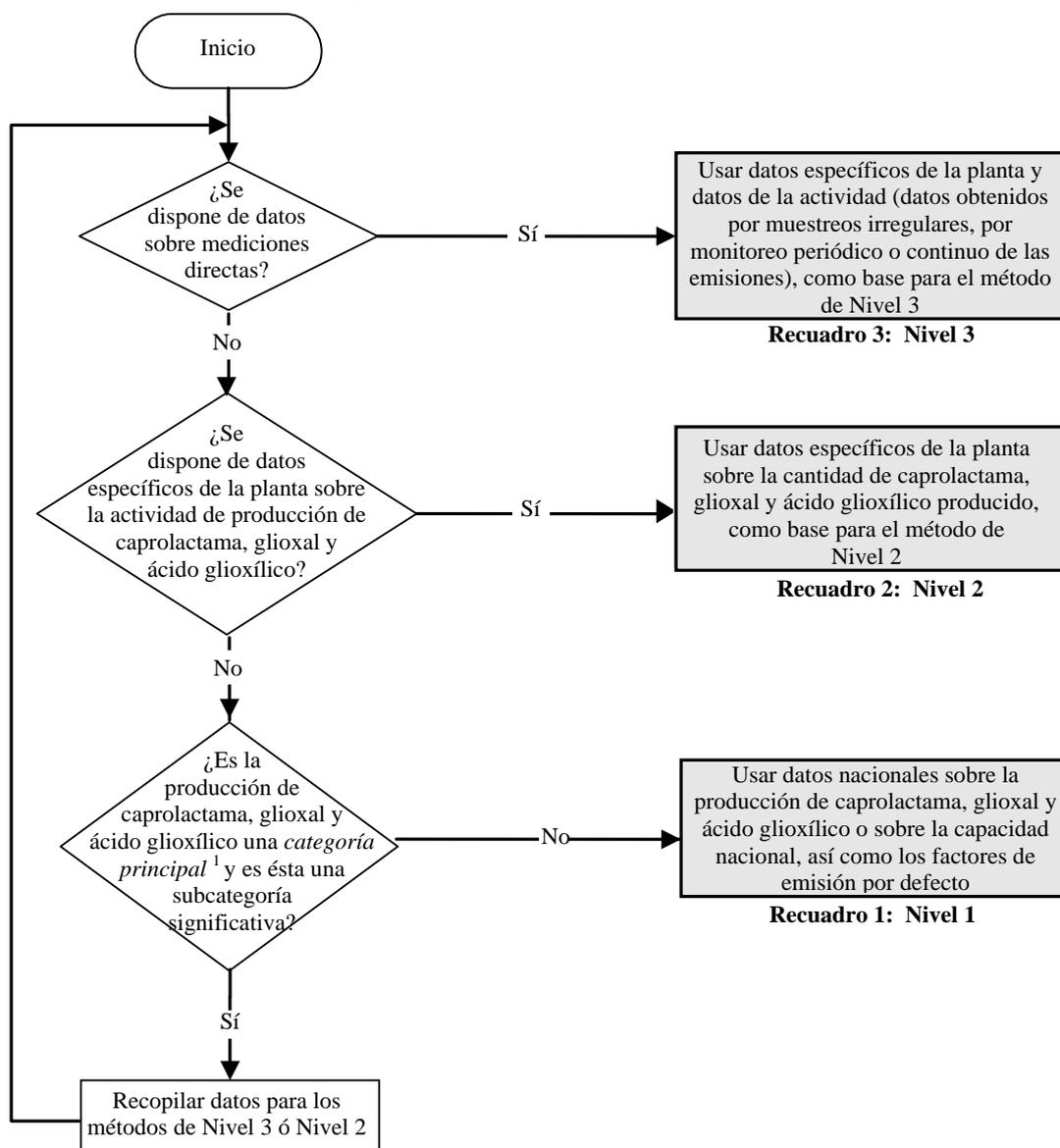
Las mediciones en las plantas proporcionan los datos más rigurosos para calcular las emisiones netas (esto es, los factores de generación y destrucción de N₂O). El monitoreo de las emisiones de N₂O de la producción de caprolactama es práctico pues éstas se producen en fuentes puntuales y hay un número limitado de plantas de producción. Dada la tecnología disponible en la actualidad, los instrumentos de muestreo y monitoreo de los índices de emisión no limitan la precisión ni el grado de exactitud de la medición total. Para evitar errores y

alcanzar el nivel deseado de exactitud, en general bastan las frecuencias de muestreo y la oportunidad de las mediciones.

Como regla general, es una *buena práctica* efectuar muestreos y análisis cada vez que en una planta se implemente un cambio significativo que pueda afectar el índice de emisión de N₂O o, en su defecto, con la frecuencia suficiente para garantizar que las condiciones de operación permanecen constantes. Además, se debe consultar anualmente con los operadores de la planta para determinar cuáles son las tecnologías de destrucción específicas que se emplean y confirmar su uso, dado que las tecnologías pueden cambiar a través del tiempo. La medición precisa del índice de emisiones y de las eficiencias de reducción requiere efectuar medidas, tanto de la corriente de salida como de la corriente no controlada. Si sólo se dispone de datos sobre la corriente de salida, la *buena práctica* consiste en basar las emisiones en estos datos. En este caso, toda estimación disponible sobre la eficiencia de reducción debe ser provista sólo a los fines informativos, pero no debe usarse para calcular las emisiones.

CUADRO 3.5		
FACTOR POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA		
Proceso de producción	Factor de emisión de N₂O (kg. de N₂O/ tonelada de caprolactama)	Incertidumbre
Raschig	9,0 ^a	± 40%
^a Basado en las plantas de alta presión para la producción de ácido nítrico. Fuente: Factores por defecto para la Producción de ácido nítrico (Véase Cuadro 3.3 en este capítulo.)		

Figura 3.4 **Árbol de decisión para estimar las emisiones de N₂O provenientes de la producción de caprolactama, glioxal o ácido glioxílico**



Nota:
 1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Es una *buena práctica* recopilar datos de producción con un nivel de detalle que permita el empleo de los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3.

Método de nivel 1

El método de Nivel 2 requiere la recopilación de datos nacionales sobre la producción de caprolactama. Si no se dispone de datos de la actividad de nivel nacional, se puede utilizar la información sobre la capacidad de producción. Es una *buena práctica* multiplicar el total de la capacidad de producción nacional por un factor de utilización de la capacidad de 80 ± 20 por ciento (es decir, un intervalo entre 60 y 100 por ciento).

Método de nivel 2

El método de Nivel 2 requiere datos de producción al nivel de plantas desagregados por edad de la planta. Si se dispone de información adicional sobre el tipo de tecnología y sobre la tecnología de reducción, es una *buena práctica* recopilar esta información y desagregar los datos de producción según la información obtenida. Es una *buena práctica* reunir datos de la actividad (producción) con un nivel de detalle coherente con el de cualquiera de los datos de generación y destrucción. Allí donde se utilicen factores de emisión al nivel de planta, la *buena práctica* consiste en recopilar los datos de producción al nivel de la planta. Los datos típicos de producción al

nivel de plantas son exactos dentro de un margen del ± 2 por ciento debido al costo económico que significa obtener información más exacta.

Método de nivel 3

Cuando las estimaciones se derivan utilizando datos de muestreo irregular o periódico de las emisiones, para el método de Nivel 3 se requieren datos al nivel de planta desagregados por tipo de tecnología. Es una *buena práctica* recopilar datos de la actividad (producción) con un nivel de detalle coherente con el de cualquiera de los datos de generación y destrucción. Aunque, donde la estimación se basa en el CEM los datos de producción no se usan para estimar las emisiones, éstos deben recopilarse y declararse para garantizar que los cambios en las variables que influyen sobre las emisiones pueden monitorearse en el transcurso del tiempo. Los datos típicos de producción al nivel de plantas son exactos dentro de un margen del ± 2 por ciento debido al costo económico que significa obtener información más exacta.

EXHAUSTIVIDAD

La cobertura completa requiere que se contabilice para todas las plantas y emisiones de todos los gases de efecto invernadero directos. Además del N_2O , puede haber emisiones de CO_2 , NO_x , COVDM y SO_2 no relacionadas con la combustión. Para incluir las emisiones de los gases de efecto invernadero indirectos (NO_x , COVDM y SO_2), véanse las orientaciones que se dan en el Capítulo 7 del Volumen 1: Orientación general y generación de informes. Se necesitará de información al nivel de plantas para permitir la estimación de las emisiones. Con el tiempo y a medida de que se disponga de más información, se podrán desarrollar más valores por defecto.

En general, en un país habrá pocas plantas de ácido nítrico y se sugiere que las emisiones se calculen a partir de datos específicos de las plantas existentes.

DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Cada vez que se cambien los métodos de cálculo, las emisiones de N_2O deben recalcularse para todos los años (p. ej., si el compilador del inventario cambia de un uso de valores por defecto a un uso de valores efectivos determinados al nivel de la planta). Si no se dispone de datos específicos de la planta para todos los años de la serie temporal, será necesario considerar cómo pueden utilizarse los datos actuales para recalcular las emisiones de los años anteriores. Es posible que se puedan aplicar factores de emisión actuales específicos de planta a los datos de producción de los años anteriores, siempre y cuando operaciones de la planta no hayan cambiado de manera sustancial. La repetición de los cálculos es necesaria para garantizar que cualquier cambio en las tendencias de emisión corresponda a un efecto real y no a un artificio derivado de los cambios en el procedimiento de cálculo. Es una *buena práctica* recalcular la serie temporal según las orientaciones propuestas en el Volumen 1, Capítulo 5.

3.5.2.2 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Las incertidumbres del valor por defecto dado en el Cuadro 3.5 es una estimación basada en los valores por defecto para las plantas de ácido nítrico. En general, los factores de emisión por defecto para las sustancias gaseosas poseen incertidumbres superiores, pues los valores de masa de las sustancias gaseosas se ven influidos por las variaciones de temperatura y presión y porque los gases se pierden con mayor facilidad a través de las fugas. Los valores por defecto para la producción de caprolactama poseen un nivel relativamente alto de incertidumbre debido a limitada información disponible. Es una *buena práctica* obtener estimaciones de incertidumbre al nivel de la planta, las cuales deberían ser menores que los valores de incertidumbre asociados a los valores por defecto.

INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Allí donde los datos de la actividad hayan sido obtenidos de las plantas, las estimaciones de incertidumbre pueden obtenerse a través de los productores. Los datos que se obtienen de los organismos nacionales de estadísticas, generalmente no incluyen estimaciones de incertidumbre. Es una *buena práctica* consultar los organismos nacionales de estadísticas para obtener información sobre cualquier error de muestreo. Allí donde los organismos nacionales de estadísticas recopilan datos de la población de instalaciones de producción de caprolactama, no es de esperar que las incertidumbres en las estadísticas nacionales difieran de las incertidumbres establecidas a partir de consultas realizadas al nivel de las plantas. Cuando no se disponga de valores de incertidumbre provenientes de otras fuentes, se puede usar un valor por defecto de ± 2 por ciento.

3.5.2.3 GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD (GC/CC), GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6. Si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones, han de aplicarse verificaciones de control de calidad y procedimientos de garantía de calidad más completos. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos

Si las emisiones se calculan empleando datos de plantas individuales de caprolactama (método «de abajo hacia arriba»), los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones con la emisiones calculadas empleando los datos nacionales de producción (método «de arriba hacia abajo»). Deberán registrar los resultados e investigar todas las discrepancias inexplicadas.

Dado que las categorías de fuente del N₂O industrial son relativamente pequeñas comparadas con otras fuentes antropogénicas o naturales, no es factible comparar las emisiones con las medidas de las tendencias en la concentración de N₂O atmosférico.

Datos al nivel de planta

Los compiladores del inventario deben archivar suficiente información para permitir una revisión independiente de las emisiones de las series temporales a partir del año de base y para explicar las tendencias en las emisiones al realizar comparaciones históricas. Esto es particularmente importante en los casos en que la repetición de los cálculos es necesaria, por ejemplo, cuando un compilador de inventario cambia de un uso de valores por defecto hacia valores efectivos determinados al nivel de la planta.

Revisión de las mediciones directas de emisiones

Si se dispone de mediciones de N₂O al nivel de planta, los compiladores del inventario deben confirmar que se han utilizado métodos estándar reconocidos internacionalmente. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces deben evaluar el uso de tales datos de emisiones. Además, deben reconsiderar las estimaciones de la incertidumbre a la luz de los resultados de la GC/CC.

Los compiladores del inventario deben comparar los factores basados en la planta con los valores por defecto del IPCC para garantizar que los factores específicos de la planta son razonables. Deben explicar y documentar todas las diferencias entre los factores específicos de planta y los factores por defecto y en particular, toda diferencia en las características de la planta que pueda conducir a estas diferencias.

GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11.

A continuación se indican algunos ejemplos de documentación y generación de informes pertinentes para esta categoría de fuente:

Descripción del método utilizado;

Número de plantas de caprolactama;

Factores de emisión;

Datos de producción;

Capacidad de producción;

Número de plantas que usan tecnologías de reducción;

Tipo de tecnología de reducción, eficiencia de destrucción y utilización;

Todas las demás hipótesis formuladas.

Los operadores de plantas deben suministrar esta información al compilador del inventario para su compilación y también archivar la información en el sitio. Allí donde se efectúen mediciones de planta, los operadores deben también registrar y archivar las frecuencias de medición y los registros de calibración de los instrumentos.

En el país donde haya solo uno o dos productores, como será ciertamente el caso de los productores de caprolactama, los datos de la actividad pueden ser considerados confidenciales. En este caso, los operadores y los compiladores del inventario deben determinar el nivel de agregación al cual la información podrá ser declarada con una protección adecuada de la confidencialidad. En todo caso, la información detallada que incluye registros de instrumentación debe archivarse al nivel de la planta.

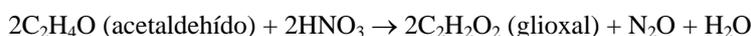
No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias sobre las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

3.5.3 Producción de caprolactama, glioxal y ácido glioxílico

El glioxal (etanediol) ($C_2H_2O_2$) se produce a partir de la oxidación del acetaldehído (etanal) (C_2H_4O) con ácido nítrico concentrado (HNO_3). El glioxal puede producirse también mediante la oxidación catalítica del etilén glicol (etanediol) (CH_2OHCH_2OH). El glioxal se usa como agente reticulante para las resinas de vinil acetato y/o acrílicas, desinfectante, agente endurecedor de gelatinas, agente de acabado de textiles (algodón a planchado permanente, tejidos de rayón), aditivos hidrófugos (recubrimientos de papel) (Ashford, 1994; p.454).

El ácido glioxílico se produce por oxidación del glioxal mediante ácido nítrico. El ácido glioxílico se usa para producir aromas sintéticos, productos agroquímicos y productos farmacéuticos intermedios (Babusiaux, 2005; p.1).

La ecuación básica de la reacción para la producción de glioxal a partir del acetaldehído es:



La relación estequiométrica indica que una reacción completa resultará en 0,543 toneladas N_2O de por tonelada de glioxal. En condiciones de producción comercial, el rendimiento de N_2O por tonelada de glioxal es aproximadamente de 0,52 toneladas (Babusiaux, 2005; p.1).

La producción de ácido glioxílico es un proceso por lotes en el cual el ácido nítrico se reduce a NO y N_2O con recuperación del NO en el proceso como HNO_3 . El N_2O aparece en el proceso de producción a través de una reacción secundaria en la cual el glioxal se convierte en ácido oxálico $(COOH)_2$.

En el cuadro 3.6 se muestran los factores por defecto para la producción de glioxal y ácido glioxílico. Las emisiones pueden estimarse mediante el mismo método descrito anteriormente para la caprolactama. Para emplear factores de destrucción por defecto, los compiladores del inventario deben verificar que la tecnología de reducción esté instalada y en funciones en las plantas individuales a lo largo del año.

CUADRO 3.6 FACTORES POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE GLIOXAL ÁCIDO GLIOXÍLICO				
Producto	Factor de generación de N_2O (toneladas de N_2O /tonelada)	Factor de destrucción de N_2O (%)	Factor de emisión de N_2O (toneladas de N_2O /tonelada)	Incertidumbre (%)
Glioxal	0,52	80	0,10	±10
Ácido glioxílico	0,10	80	0,02	±10

Fuente: Babusiaux (2005)

3.6 PRODUCCIÓN DE CARBURO

3.6.1 Introducción

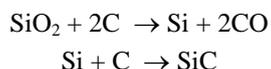
Existen emisiones de gas de efecto invernadero que están asociadas a la producción de carburo de silicio (SiC) y carburo de calcio (CaC_2). La producción de carburo puede traducirse en la emisión de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO_2). El carburo de silicio es un abrasivo artificial importante. Se produce a partir de la arena de sílice o de cuarzo y del coque de petróleo. El carburo de calcio se utiliza en la producción de acetileno, en la fabricación de cianamida (históricamente, un uso menor) y como agente reductor en los hornos de arco eléctrico para el acero. Se fabrica a partir de dos materias primas que contienen carbono: El carbonato de calcio (piedra caliza) y el coque de petróleo.

El uso de materias primas que contienen carbono en el proceso de producción se traduce en emisiones de CO₂ y de CO. En el coque de petróleo, la presencia de azufre (S) y de componentes volátiles que contienen hidrógeno puede provocar la formación y emisión de CH₄ y SO₂ hacia la atmósfera.

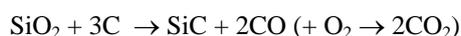
3.6.2 Cuestiones metodológicas

CO₂ Y CH₄ DE LA PRODUCCIÓN DE CARBURO DE SILICIO

El carburo de silicio se produce a partir de la arena de sílice o cuarzo y del coque de petróleo, el cual es utilizado como una fuente de carbono, según las reacciones (Austin, 1984; p. 262):



La fórmula que describe la reacción global se da a continuación, pero en la práctica, ésta no se desarrolla en las proporciones estequiométricas indicadas:



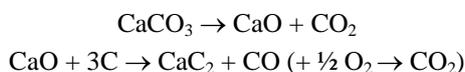
En el proceso de producción, se mezcla la arena de sílice con carbono en una proporción molar de 1:3. Algo de carbono, cercano a un 35 por ciento, queda contenido del producto y el resto se convierte en CO₂ con exceso de oxígeno y es liberado en la atmósfera como un producto derivado del proceso.

El coque de petróleo utilizado en el proceso puede contener componentes volátiles que formarán metano. Una parte del metano se escapará hacia la atmósfera, sobre todo durante la fase de arranque.

CO₂ DE LA PRODUCCIÓN DE CARBURO DE CALCIO

El carburo de calcio (CaC₂) se fabrica por calentamiento del carbonato de calcio (piedra caliza) seguido de una reducción del CaO con carbono, p. ej., coque de petróleo. Ambas etapas conducen a emisiones de CO₂. Cerca de un 67 por ciento del carbono del coque de petróleo estará contenido en el producto.

Las reacciones básicas son:



En la mayoría de las plantas, el gas CO se utiliza como fuente de energía.

RECUADRO 3.4 CÓMPUTO DOBLE

Para evitar cómputo doble, la emisión de CO₂ de la combustión del gas CO generado en el proceso de producción de CaC₂ deberá ser contabilizada en el **Sector PIUP** y no debe ser incluida en el **Sector Energía**. El coque de petróleo utilizado en el proceso de producción debe deducirse del **Sector Energía** en calidad de uso no energético del coque de petróleo.

La aplicación más importante del carburo de calcio es la producción de acetileno (C₂H₂) por reacción del CaC₂ con el agua. Un uso sustancial del acetileno son las aplicaciones relacionadas con la soldadura. El acetileno se usa también en la síntesis química del acetaldehído, el ácido acético, el anhídrido acético y como alimentación al proceso de fabricación de «negro de acetileno», una forma del negro de humo. A menudo, el acetileno no se produce en la misma planta que produce el CaC₂ y esto debe tomarse en cuenta al aplicar los métodos de nivel superior para estimar las emisiones de CO₂ a partir del uso del CaC₂. El uso del acetileno en la síntesis química y en la producción de negro de acetileno se traduce en carbono contenido de los productos, lo cual reduce el total de las emisiones de CO₂ relacionadas con el uso del CaC₂. El acetileno puede producirse a partir de la oxidación parcial del gas natural así como del CaC₂. El método para dar cuenta del acetileno en estos usos se describe en la Sección 3.9 de este volumen.

La producción y uso del acetileno para las aplicaciones en soldadura se expresa por la reacción:



Allí donde se utilice el acetileno para aplicaciones de soldadura, las emisiones se pueden derivar de la cantidad de CaC₂ utilizado para la producción del acetileno, bajo la hipótesis de que el acetileno habrá sido utilizado durante un período relativamente corto posterior a la producción.

RECUADRO 3.5
ATRIBUCIÓN DE LAS EMISIONES DE LA PRODUCCIÓN DE CaO

El CaO (cal) puede producirse internamente o en otra planta que la planta de carburo. En ambos casos, las emisiones provenientes de la etapa del CaO deben declararse como emisiones provenientes de la producción de cal (Sección 2.3 en este volumen) y sólo las emisiones provenientes de la reacción del CaO con el coque de petróleo y del uso del producto en la producción de acetileno para aplicaciones de soldadura han de declararse como emisiones provenientes del carburo de calcio.

3.6.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Los métodos se clasifican según la cantidad de datos que estén disponibles al nivel de la planta. El método de Nivel 2 está basado en valores por defecto y en las estadísticas nacionales. El método de Nivel 2 está basado en datos de producción al nivel de plantas y en el uso del CaC₂ en la producción de acetileno para aplicaciones de soldadura. El método de Nivel 3 está basado en datos sobre las entradas de coque de petróleo al nivel de plantas (incluido el factor de contenido de carbono (CCF) y el factor de oxidación del carbono (COF), cuando esté disponible; en su defecto, pueden utilizarse valores específicos del país para el Sector Energía), sobre el uso del en la producción de acetileno para aplicaciones de soldadura y sobre los factores de emisión al nivel de plantas, donde sea pertinente.

Tanto el Nivel 2 como el Nivel 3 requieren datos de la actividad al nivel de la planta. La elección del método para estimar las emisiones de CO₂ y CH₄ depende de las circunstancias nacionales, como se muestra en la Figura 3.5.

CO₂ Y CH₄ DE LA PRODUCCIÓN DE CARBURO DE SILICIO

Método de nivel 1

Las emisiones provenientes de la producción de carburo pueden estimarse de los datos de la actividad (AD) sobre el consumo de coque de petróleo o de la producción de carburo, del carburo de calcio utilizado en la producción de acetileno para aplicaciones de soldadura y de factores de emisión por defecto. Allí donde se utilicen datos de la actividad sobre el consumo de coque de petróleo, los factores CCF y COF del coque de petróleo pueden obtenerse en el Volumen 2, Capítulo 1 y el resultado debe multiplicarse por 44/12 para convertir el C en CO₂. La ecuación básica para estimar las emisiones es:

ECUACIÓN 3.11
EMISIONES DE LA PRODUCCIÓN DE CARBURO

$$E_{CO_2} = AD \cdot EF$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂, toneladas

AD = datos de la actividad sobre el consumo de coque de petróleo o de la producción de carburo, toneladas de materia prima utilizada o toneladas de carburo producido

EF = factor de emisión de CO₂.

Se dan las dos posibilidades siguientes:

Cuando se utiliza la producción de carburo como dato de la actividad, EF debe corresponder al promedio de las emisiones de CO₂ por unidad de salida para la producción de carburo, toneladas de CO₂/tonelada de producción de carburo.

Cuando se utiliza el consumo de coque de petróleo como dato de la actividad, EF debe corresponder al factor CCF (factor de contenido de carbono) multiplicado por 44/12 y ajustado para dar cuenta del C contenido de el producto, toneladas de CO₂/tonelada de material utilizado.

El factor de ajuste para el SiC = 0,35 ⇒ Factor de emisión = 0,65 • CCF • COF • 44/12;

El factor de ajuste para el CaC₂ = 0,67 ⇒ Factor de emisión = 0,33 • CCF • COF • 44/12.

La ecuación 3.11 puede emplearse también para estimar las emisiones de CH₄, donde EF es el factor de emisión apropiado para el CH₄.

Para estimar las emisiones provenientes del CaC_2 se necesita incluir las emisiones de CO_2 que se atribuyen indirectamente al CaC_2 que se emplea en la producción de acetileno. La Ecuación 3.11 puede aplicarse allí donde AD corresponde a la cantidad de CaC_2 utilizado y EF es el factor de emisión asociado a este uso. Al usar el método de Nivel 1, es una *buena práctica* suponer que todo el CaC_2 utilizado en la producción de acetileno da lugar a emisiones de CO_2 .

Método de nivel 2

En el método de Nivel 2 se emplean datos sobre la producción de carburo al nivel de la planta y sobre el contenido de C del producto. En el caso del CaC_2 , se requiere también de los datos sobre el uso del CaC_2 en la producción de acetileno utilizado para aplicaciones de soldadura. Las emisiones provenientes de su producción y uso pueden estimarse con la Ecuación 3.11 empleando factores de emisión por defecto. Allí donde el acetileno se produce en otro lugar a partir del CaC_2 y no se conoce la cantidad de CaC_2 utilizado para este propósito, es una *buena práctica* documentar este hecho.

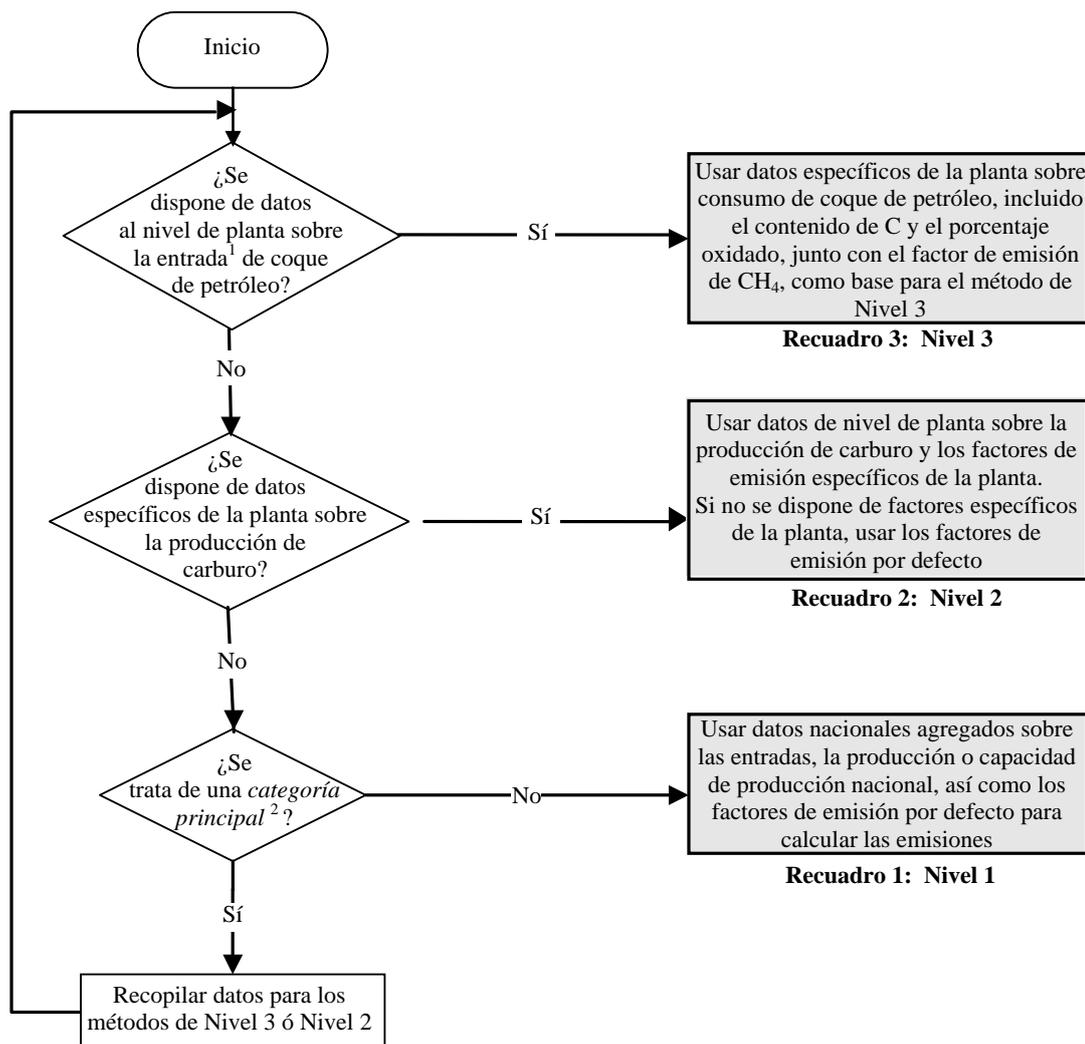
Método de nivel 3

Para el método de Nivel 3 se requieren datos sobre las entradas de coque de petróleo al de plantas junto con los factores CCF y COF, cuando estén disponibles; en su defecto, para el CCF y el COF se puede utilizar los valores del Sector Energía específicos del país. También se requieren datos al nivel de plantas sobre el contenido de C del producto.

En el caso del CaC_2 , se requieren datos sobre el uso del CaC_2 en la producción de acetileno utilizado para aplicaciones de soldadura, así como los factores de emisión al nivel de plantas. Allí donde el acetileno se produce en otro lugar a partir del CaC_2 y no se conoce la cantidad de CaC_2 utilizado para este propósito, es una *buena práctica* documentar este hecho. Además, se necesita recopilar factores de emisión al nivel de plantas para el CH_4 . La Ecuación 3.11 puede aplicarse para estimar las emisiones para cada planta y el total nacional de emisiones es la suma de estas estimaciones.

Los datos de producción no se usan en estos cálculos, pero deben recopilarse para los efectos de la generación de informes. Allí donde los datos de producción de acetileno no puedan desagregarse por uso, se alienta a los compiladores del inventario nacional que usan el método de Nivel 3 a dar cuenta de todas las emisiones en el punto donde éstas se generan; por ejemplo, las emisiones provenientes del uso del acetileno para aplicaciones de soldadura deben contabilizarse en el lugar de uso del acetileno, empleando un factor de emisión específico del país. Un método similar debe aplicarse a los otros usos del acetileno.

Figura 3.5 **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ y CH₄ provenientes de la producción de carburo**



Notas

1. «datos de entrada» significa: datos sobre el consumo de materias primas
2. Para una discusión sobre las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de las categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

3.6.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Método de nivel 1

En el método de Nivel 1 se utilizan valores por defecto para el CCF, COF y el C contenido de el producto, cuando para la estimación se emplea el coque de petróleo. Por otro lado, cuando se emplea la producción de carburo, en el método se utilizan factores de emisión que se muestran en los Cuadros 3.7 y 3.8, según lo que sea pertinente. En ambos casos se aplica el factor de uso de CaC₂ por defecto.

Método de nivel 2

Al igual que en el método de Nivel 1, en el de Nivel 2 se utilizan valores por defecto para el factor de emisión, excepto para la cantidad de C contenido de el producto en cuyo caso se requieren datos al nivel de plantas.

Método de nivel 3

Para el método de Nivel 3 se requieren datos al nivel de plantas para todas las variables, excepto para los factores CCF y COF del coque de petróleo, en cuyo caso se pueden utilizar valores del Sector Energía específicos del país. Esto incluye los factores de emisión al nivel de plantas para la cal, si ésta se produce internamente, y los

factores de emisión al nivel de plantas para el CaC_2 utilizado en la producción de acetileno destinado a aplicaciones de soldadura.

CO₂ de la producción de carburo de calcio

En el proceso de producción del carburo de silicio se necesita más carbono que lo calculado para una reacción estequiométrica. El exceso de carbono se oxida durante el proceso y muy poco queda como ceniza (Raanes, 1991). En las plantas noruegas se dan valores por defecto típicos de 97 por ciento para el contenido de carbono del coque de petróleo y de 35 por ciento para el carbono contenido del producto. Esto implica un factor de emisión típico de 2,3 toneladas de CO_2 /tonelada de coque de petróleo utilizado (IPCC, 1997), o de 2,62 toneladas de CO_2 /tonelada de carburo producido.

CH₄ de la producción de carburo de silicio

Mediciones realizadas en las planta noruegas sugieren factores de 10,2 kg. de CH_4 /tonelada de coque de petróleo o de 11,6 kg. de CH_4 /tonelada de carburo producido (IPCC, 1997).

CUADRO 3.7 FACTORES POR DEFECTO PARA LAS EMISIONES DE CO₂ Y CH₄ DE LA PRODUCCIÓN DE CARBURO DE SILICIO				
Proceso	Factor de emisión (toneladas de CO₂/tonelada de materia prima utilizada)	Factor de emisión (kg. de CH₄/tonelada de materia prima utilizada)	Factor de emisión (toneladas de CO₂/tonelada de carburo producido)	Factor de emisión (kg. de CH₄/tonelada de carburo producido)
Producción de carburo de silicio	2,30	10,2	2,62	11,6

Fuente: *Revised 1996 IPCC National Greenhouse Gas Inventories*, Vol.3, p.2.21 (IPCC, 1997)

CO₂ de la producción de carburo de calcio

Los factores de emisión pueden derivarse del uso de materias primas (coque de petróleo) y de la producción de carburo utilizando un método de equilibrio de masas. La piedra caliza utilizada en la fabricación de carburo contiene alrededor de un 98 por ciento de y se contabiliza en otros rubros. 1 750 kg. de piedra caliza (o 950 kg. de CaO), 640 kg. de petróleo de coque y 20 kg. de electrodos de carbono son necesarios para producir 1 tonelada de carburo.

Los factores de emisión para estimar las emisiones se incluyen en el Cuadro 3.8.

CUADRO 3.8 FACTORES DE EMISIÓN PARA LAS EMISIONES DE CO₂ A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN Y USO DEL CARBURO DE CALCIO		
Proceso	Factor de emisión por defecto (toneladas de CO₂/tonelada de materia prima utilizada)	Factor de emisión por defecto (toneladas de CO₂/tonelada de carburo producido)
Uso del coque de petróleo	1,70	1,090
Uso del producto	no pertinente	1,100

Fuente: *Revised 1996 IPCC National Greenhouse Gas Inventories*, Vol.3, p.2.22 (IPCC, 1997)

Para el coque de petróleo, el factor de emisión teórico calculado a partir de la relación estequiométrica de la reacción es menor que el que se muestra en el cuadro. El exceso de carbono se oxida en el proceso y los factores de emisión sugeridos fueron calculados a partir del uso efectivo de materias primas en una planta noruega. El factor de emisión para el uso del acetileno se calcula del contenido de carbono efectivo (no estequiométrico) del carburo.

Las emisiones de CO_2 pueden disminuirse mediante la utilización de gas al producir dicianodiamida a partir del carburo (Olsen, 1991).

3.6.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Método de nivel 1

Para el método de Nivel 1 se requieren datos sobre el coque de petróleo utilizado en la producción de carburo o sobre la producción nacional de carburo. Estos datos pueden obtenerse a través de las estadísticas nacionales o de las organizaciones industriales o comerciales que representan a los productores de carburo y de coque de petróleo.

Método de nivel 2

Los datos de la actividad requeridos para el método de Nivel 2 incluyen los datos al nivel de plantas sobre el carburo producido y sobre la cantidad de CaC_2 utilizada en la producción de acetileno para las aplicaciones de soldadura.

Método de nivel 3

Para el método de Nivel 3 se requieren datos de la actividad al nivel de plantas para todas las variables, incluida la entrada de coque de petróleo y del CaC_2 utilizado para producir acetileno destinado a las aplicaciones de soldadura.

Para el método de Nivel 2 se requiere recopilar datos de la actividad de las plantas o compañías individuales. En el caso del Nivel 1, debe utilizarse los datos de la actividad suministrados por las estadísticas nacionales o por las organizaciones industriales y comerciales asociadas con la producción de carburo y coque de petróleo. Sin embargo, si se dispone de suficientes datos específicos de plantas o de compañías, éstos pueden utilizarse para estimar las emisiones.

3.6.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Las plantas de producción de carburo son generalmente bien conocidas en cada país. En consecuencia, los datos de producción de carburo pueden estar disponibles en las bases de datos de las estadísticas nacionales, o bien, pueden recopilarse si no se han publicado en las estadísticas nacionales. Los datos sobre el consumo de coque de petróleo pueden obtenerse a través de las plantas de producción de carburo o de los productores o comerciantes de coque. Los datos de la actividad y la estimación de emisiones resultan complicados por el hecho de que el acetileno producido a partir del CaC_2 no es producido necesariamente en la misma planta que produce el CaC_2 . Esto debe ser tomado en cuenta al emplear los métodos de nivel superior, con emisiones que se generan a partir del uso de CaC_2 contabilizado en el lugar donde ocurre la emisión. Por ejemplo, en el caso del acetileno utilizado en aplicaciones de soldadura, allí donde el acetileno se produzca en un lugar diferente, las emisiones provenientes del CaC_2 deben contabilizarse en el lugar de producción del acetileno, bajo la hipótesis de que éste será utilizado en un corto plazo posterior a la producción.

La aplicación de los métodos de Nivel 2 y 3 conlleva la estimación de emisiones y la recopilación de datos al nivel de planta «de abajo hacia arriba» (planta por planta). En aquellos países donde sólo un subconjunto de las plantas declara datos para el método de Nivel 3 o donde se da una transición del Nivel 2 hacia el Nivel 3, puede que no sea posible declarar emisiones utilizando el Nivel 3 para todas las instalaciones durante el período de transición. Allí donde los datos necesarios para el método de Nivel 3 no estén disponibles para todas las plantas, se puede usar el Nivel 2 para las plantas restantes. Igualmente, allí donde los datos necesarios para el método de Nivel 2 sean declarados sólo por un subconjunto de las plantas o donde se dé una transición del Nivel 1 hacia el Nivel 2, es posible que se pueda determinar la parte de la producción representada por las plantas que no declaran y usar esta información para estimar las emisiones restantes utilizando el Nivel 1, de modo que se garantice la exhaustividad durante el período de transición.

3.6.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Es una *buena práctica* estimar las emisiones provenientes de la producción de carburo empleando el mismo método en cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método más riguroso aplicable a todos los años de la serie temporal, es un *buena práctica* recalcular estos vacíos según las orientaciones entregadas en el Volumen 1, Capítulo 5.

3.6.3 Evaluación de incertidumbre**3.6.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN**

En general, los factores de emisión de CO_2 por defecto son relativamente inciertos pues el proceso de producción de carburo a escala industrial difiere de la estequiometría de las reacciones químicas teóricas. La incertidumbre en los factores de emisión de CH_4 se debe a posibles variaciones en los compuestos volátiles que contienen hidrógeno en las materias primas (coque de petróleo) que emplean los diversos fabricantes y a posibles variaciones en los parámetros del proceso de producción. Cuando no se disponga de valores de incertidumbre provenientes de otras fuentes, se puede usar un valor por defecto de ± 10 por ciento.

Es una *buena práctica* obtener estimaciones de incertidumbre al nivel de la planta, las cuales deberían ser menores que los valores de incertidumbre asociados a los valores por defecto.

3.6.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Allí donde los datos de la actividad hayan sido obtenidos de las plantas, las estimaciones de incertidumbre pueden obtenerse a través de los productores. En esto se incluyen las estimaciones para el coque de petróleo y la piedra caliza utilizados para los datos sobre la producción de carburo. Los datos que se obtienen de los organismos nacionales de estadísticas, generalmente no incluyen estimaciones de incertidumbre. Es una *buena práctica* consultar los organismos nacionales de estadísticas para obtener información sobre cualquier error de muestreo. Allí donde los organismos nacionales de estadísticas recopilan datos de la población de instalaciones de producción de carburo, no es de esperar que las incertidumbres en las estadísticas nacionales difieran de las incertidumbres establecidas a partir de consultas realizadas al nivel de las plantas. Cuando no se disponga de valores de incertidumbre provenientes de otras fuentes, se puede usar un valor por defecto de ± 5 por ciento.

3.6.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

3.6.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones de control de calidad y procedimientos de garantía de calidad adicionales, en particular si al determinar las emisiones provenientes de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Además de las orientaciones del Volumen 1, se delinear a continuación los procedimientos específicos que son pertinentes para esta categoría de fuente.

Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos

Si se utiliza el método de Nivel 2 (específico de plantas), los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones de emisiones con las estimaciones calculadas mediante los datos de la actividad al nivel nacional (Nivel 1). Se alienta también a los compiladores del inventario a comparar las estimaciones de emisiones calculadas introduciendo diferentes cambios a los mismos métodos.

Los resultados de tales comparaciones deben registrarse con fines de documentación interna, incluidas las explicaciones sobre cualquier discrepancia.

Revisión de los factores de emisión

Los compiladores del inventario deben comparar los factores de emisión agregados nacionalmente con los factores por defecto del IPPC con el fin de determinar si el factor nacional es razonable en relación con el factor por defecto del IPPC. El mismo procedimiento (vale decir, comparar con los valores IPCC por defecto) debe aplicarse a los factores de emisión específicos de plantas. Las diferencias entre los factores nacionales y los factores por defecto deben explicarse y documentarse, en particular si son representativos de circunstancias diferentes.

Verificación de los datos específicos de plantas

Para los datos específicos de plantas, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias entre plantas para establecer si éstas reflejan la presencia de errores, de técnicas de medida diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones operacionales o en las tecnologías.

Los compiladores del inventario deben garantizar que los factores de emisión y los datos de la actividad se determinan de acuerdo con los métodos de medida internacionalmente reconocidos y probados. Si se recopilan las mediciones de las emisiones provenientes de las plantas individuales, los compiladores del inventario deben garantizar que dichas mediciones hayan sido efectuadas según normas nacionales o internacionales reconocidas. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces la utilización de estas emisiones o datos de la actividad debe evaluarse cuidadosamente, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones.

Revisión de expertos

En un proceso de revisión, se alienta a los compiladores del inventario a incluir a las principales organizaciones industriales y comerciales asociadas con los productores de carburo y coque de petróleo. Este proceso debe comenzar durante la etapa inicial del desarrollo del inventario de modo que contribuya al desarrollo y revisión de los métodos y a la adquisición de los datos.

Para esta categoría de fuente puede ser útil recurrir también a revisores independientes, particularmente en relación con la recopilación inicial de datos, la transcripción, los cálculos y la documentación.

3.6.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. También se debe documentar y archivar la repetición de los cálculos de emisiones para años anteriores.

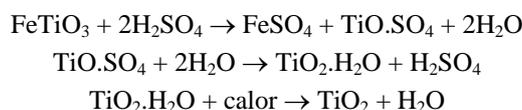
3.7 PRODUCCIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO

3.7.1 Introducción

El dióxido de titanio (TiO₂) es uno de los pigmentos blancos más utilizados. Su principal utilización se da en la fabricación de pinturas, seguido por la fabricación de papel, plásticos, gomas, cerámicas, tejidos, revestimientos de pisos, tinta de imprenta y otros usos varios (Austin, 1984; Lowenheim y Moran, 1975). Dado que la producción de TiO₂ bordea los 4 millones de toneladas y que la vía del cloruro se usa de manera sustancial, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) tienden a ser significativas y necesitan ser contabilizadas en los inventarios de gases de efecto invernadero. La producción mundial por la vía del cloruro ha aumentado alrededor de unas 8 veces desde 1970, mientras que la producción por la vía del sulfato ha permanecido relativamente estable (Kirk-Othmer, 1999; p. 2017). Nótese que en la discusión, los productos del óxido de titanio se denominan genéricamente dióxido de titanio, salvo cuando es necesario hacer una distinción entre productos. La discusión es aplicable a la escoria de titanio, al rutilo sintético (>90 por ciento de TiO₂) y al TiO₂ rutilo.

3.7.2 Cuestiones metodológicas

El TiO₂ se produce como TiO₂ anatasa y como TiO₂ rutilo. Las formas del TiO₂ difieren en términos de la estructura cristalina y de la pureza del producto final. El TiO₂ anatasa puede producirse por digestión de la ilmenita (esencialmente titanato ferroso (FeO.TiO₂)) mediante ácido sulfúrico, o proceso del sulfato), o bien a partir de la escoria de titanio. Las ecuaciones básicas de la reacción de la vía de la digestión ácida son (Lowenheim y Moran, 1975; p. 814):

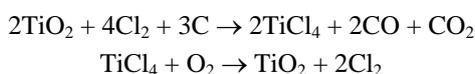


El proceso de la vía del sulfato no genera emisiones significativas de gases de efecto invernadero.

Existen procesos de producción de TiO₂ en uso que conllevan un proceso de emisiones de gases de efecto invernadero: la producción de escoria de titanio en hornos eléctricos, la producción de rutilo sintético mediante el proceso de Becher y la producción de TiO₂ rutilo por la vía del cloruro.

La escoria de titanio utilizada para la producción de TiO₂ anatasa se produce fundiendo la ilmenita en un horno eléctrico. Allí donde se utilice la escoria de titanio, la etapa de la reacción de reducción ácida no es necesaria pues el fundido en horno eléctrico reduce el hierro férrico contenido como impureza en la ilmenita. El TiO₂ rutilo puede producirse por procesamiento ulterior del TiO₂ anatasa. Las emisiones del proceso provienen de la sustancia reductora utilizada en el proceso.

Allí donde se use el proceso de Becher, la producción de rutilo sintético puede dar lugar a emisiones de CO₂. Este proceso reduce el óxido de hierro contenido de la ilmenita a hierro metálico y luego se reoxida en óxido de hierro. En el proceso se separa el dióxido de titanio como rutilo sintético entre un 91 por ciento y un 93 por ciento de pureza (Chemlink, 1997). El carbón negro se usa como agente reductor y las emisiones de CO₂ resultantes deben ser tratadas como emisiones provenientes de procesos industriales. La vía principal de producción del TiO₂ rutilo es la vía del cloruro. El TiO₂ rutilo se produce a través de la cloración carbotérmica del mineral de rutilo o del rutilo sintético para producir tetracloruro de titanio (TiCl₄) y de la oxidación de los vapores de TiCl₄ en TiO₂ según las reacciones siguientes (Kirk-Othmer, 1999; p.2017):



Basándose en la estequiometría y suponiendo una conversión completa de la entrada de C en CO₂ a través de la conversión subsiguiente del CO en exceso de aire, el factor de emisión de CO₂ no puede ser inferior a 0,826 toneladas de CO₂ por tonelada de TiO₂ (basándose en una proporción de 1,5 moles de CO₂ por mol de TiO₂).

3.7.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

El método general para calcular las emisiones de CO₂ a partir de la producción de dióxido de titanio es el mismo, independientemente del producto, pues las emisiones resultan de la cantidad de agente reductor o de entrada carbotérmica. La elección de un método dependerá de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión de la Figura 3.6. Las emisiones de dióxido de carbono del proceso de producción del TiO₂ tienen lugar principalmente como consecuencia de la oxidación de los ánodos de carbono en la producción de la escoria de titanio, de la oxidación del carbón en el proceso de producción del rutilo sintético por el proceso de Becher y de la oxidación del coque de petróleo en el proceso de producción de TiO₂ rutilo por la vía del cloruro.

Los métodos se clasifican según la cantidad de datos que estén disponibles al nivel de la planta.

MÉTODO DE NIVEL 1

En el método de Nivel 1 se usa un factor de emisión por defecto por unidad de salida multiplicado por los datos de la actividad obtenidos de las estadísticas nacionales. La ecuación básica para estimar las emisiones de CO₂ es:

<p>ECUACIÓN 3.12</p> <p>EMISIONES DE CO₂ A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORIA DE TITANIO, RUTILO SINTÉTICO Y TiO₂ RUTILO – NIVEL 1</p> $E_{CO_2} = \sum_i (AD_i \cdot EF_i)$
--

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂, toneladas

AD_i = producción de escoria de titanio, rutilo sintético o TiO₂ rutilo (producto i), toneladas

EF_i = emisiones de CO₂ por unidad de producción de escoria de titanio, rutilo sintético o TiO₂ rutilo (producto i), toneladas de CO₂/tonelada de producto

MÉTODO DE NIVEL 2

Las emisiones pueden calcularse a partir del consumo de agente reductor para el electrodo de carbono (escoria de titanio), de carbón (rutilo sintético) en el proceso de Becher y de entrada carbotérmica (coque de petróleo) para el TiO₂ rutilo del proceso de la vía cloruro. En el método de Nivel 2, para derivar las emisiones se emplean datos al nivel de plantas sobre las cantidades de agente reductor y de entrada carbotérmica, de la manera siguiente:

<p>ECUACIÓN 3.13</p> <p>EMISIONES DE CO₂ A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORIA DE TITANIO, RUTILO SINTÉTICO Y TiO₂ RUTILO – NIVEL 2</p> $E_{CO_2} = \sum_i (AD_i \cdot CCF_i \cdot COF_i \cdot 44/12)$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂, kg.

AD_i = cantidad de agente reductor o de entrada carbotérmica i , GJ

CCF_i = factor del contenido de carbono del agente reductor o de entrada carbotérmica i , kg. C/GJ

COF_i = factor de oxidación del carbono del agente reductor o de la entrada carbotérmica i , fracción

Para alcanzar el grado máximo de exactitud, la *buena práctica* consiste en aplicar la Ecuación 3.13 al nivel de planta obteniendo todos los datos de entrada de los operadores de la planta.

Allí donde no se disponga de información al nivel de planta, la *buena práctica* proporciona factores de emisión de CO₂ por defecto para el rutilo sintético y el rutilo TiO₂, como se muestra en el Cuadro 3.9. No se dispone de un factor por defecto para la escoria de titanio debido al reducido número de plantas.

RECUADRO 3.6
CÓMPUTO DOBLE

Para evitar el cómputo doble, las cantidades de carbono de electrodos, de carbón utilizado como agente reductor y de coque de petróleo empleado en el proceso de la vía del cloruro deben sustraerse de la cantidad declarada como usos energéticos y no energéticos en el **Sector Energía**.

3.7.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

MÉTODO DE NIVEL 1

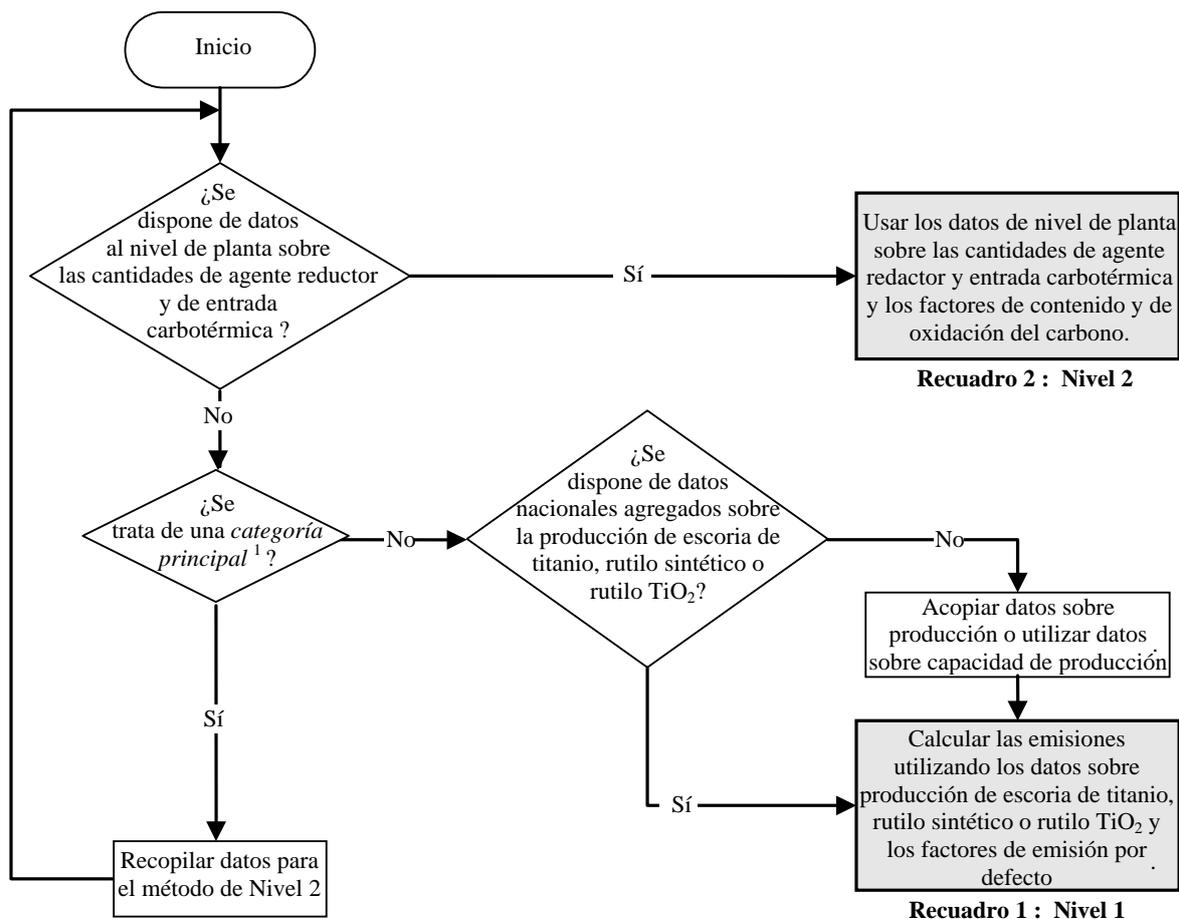
Si no se dispone de información al nivel de plantas, es una buena práctica emplear factores por defecto. Por lo general, estos factores por defecto representan valores medios o medianos de conjuntos de datos (determinados mediante análisis de expertos). Se desconoce en qué medida éstos representan los índices de emisión de una planta específica. Los factores por defecto por proceso de producción se presentan en el Cuadro 3.9 y deben ser usados sólo en aquellos casos en que los datos específicos de las plantas no estén disponibles. Los factores por defecto se basan en estimaciones sobre el agente reductor o la entrada carbotérmica por unidad de salida y se supone una conversión completa del contenido de C en CO₂.

MÉTODO DE NIVEL 2

Los datos al nivel de plantas proporcionan los datos más rigurosos para calcular las emisiones de CO₂ de la producción de dióxido de titanio. Para el método de Nivel 3, el contenido de C en el agente reductor y en las entradas carbotérmicas, junto con la proporción de C oxidado, constituyen las variables principales del factor de emisión para derivar la cantidad de CO₂ emitido.

CUADRO 3.9 FACTORES POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO (TONELADAS DE CO₂ POR TONELADA DE PRODUCTO)	
Producto	Factor de emisión e incertidumbre respectiva (toneladas de CO₂/tonelada de producto)
Escoria de titanio ¹	No disponible
Rutilo sintético ²	1,43 (± 10%)
Rutilo dióxido de titanio (vía del cloruro) ³	1,34 (± 15%)
Fuente:	
¹ No se dispone de un factor de emisión por defecto pues existen sólo dos plantas, Richards Bay en Sudáfrica y Allard Lake en Canadá, y porque los datos son confidenciales. Para los respectivos países, es una <i>buena práctica</i> incluir las estimaciones de emisiones específicas de planta en sus inventarios sobre gases de efecto invernadero.	
² Derivado de datos proporcionados por Iluka Resources.	
³ Adaptado de EIPPCB (2004a; p.99).	

Figura 3.6 **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de dióxido de titanio**



Nota

1. Para una discusión sobre las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1, Capítulo 4, Opción metodológica e identificación de las categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

3.7.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Es una *buena práctica* recopilar, datos de la actividad con un nivel de detalle que permita el empleo de los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3. Al aplicar los métodos, es esencial hacer una clara distinción entre los productos para evitar multiplicar los datos de la actividad por un factor de emisión equivocado.

MÉTODO DE NIVEL 1

Para el método de Nivel 1 se requieren datos sobre la producción nacional de escoria de titanio, rutilo sintético y rutilo TiO₂. Si no se dispone de datos de la actividad al nivel nacional, se puede utilizar la información sobre la capacidad de producción con estimaciones de emisiones realizadas utilizando un factor de emisión por defecto. . Es una *buena práctica* multiplicar el total de la capacidad de producción nacional por un factor de utilización de la capacidad de 80 ± 10 por ciento (es decir, un intervalo entre 70 y 90 por ciento).

MÉTODO DE NIVEL 2

Los datos de la actividad al nivel de planta requeridos por el método de Nivel 2 son: el total de agente reductor utilizado, el total de electrodos de carbono consumidos y el total de entrada carbotérmica. Es una *buena práctica* recopilar también datos sobre el total de la producción de escoria de titanio, el total de la producción de rutilo sintético y el total de la producción de rutilo TiO₂. La recopilación de datos de producción permite hacer comparaciones de las entradas por unidad de salida en el transcurso del tiempo y proporciona una base sólida para garantizar la coherencia de la serie temporal. Allí donde se utilicen factores de emisión al nivel de planta, la *buena práctica* consiste en recopilar datos sobre la producción al nivel de planta. Se supone que los datos típicos de producción al nivel de plantas son exactos dentro de un ±2 por ciento debido al costo económico que significa

obtener información más exacta. Si no se dispone de datos de la actividad de nivel nacional, se pueden utilizar datos compilados nacionalmente.

3.7.2.4 EXHAUSTIVIDAD

La cobertura completa de la producción de dióxido de titanio requiere la contabilización de todas las emisiones provenientes de todas las fuentes, incluidos la escoria de titanio, el rutilo sintético y el rutilo TiO₂. Las emisiones de CO₂ constituyen las principales emisiones provenientes del proceso. Con el fin de incluir las emisiones de NO_x, CO y SO₂ para esta categoría de fuente, véanse las orientaciones proporcionadas en el Capítulo 7 del Volumen 1: Orientación general y generación de informes.

3.7.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Cada vez que se cambien los métodos de cálculo, las emisiones de N₂O deben recalcularse para todos los años (p. ej., si el compilador del inventario cambia de un uso de valores por defecto a un uso de valores efectivos determinados al nivel de la planta). Si no se dispone de datos específicos de la planta para todos los años de la serie temporal, será necesario considerar cómo pueden utilizarse los datos actuales para recalcular las emisiones de los años anteriores. Es posible que se puedan aplicar factores de emisión específicos de planta actuales a los datos de producción de los años anteriores, siempre y cuando las operaciones de la planta no hayan cambiado sustancialmente. La repetición de los cálculos es necesaria para garantizar que cualquier cambio en las tendencias de emisión corresponda a un efecto real y no a un artificio derivado de cambios en los procedimientos. Es una *buena práctica* recalcular la serie temporal según las orientaciones propuestas en el Volumen 1, Capítulo 5.

3.7.3 Evaluación de incertidumbre

3.7.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Las incertidumbres de los valores por defecto son estimaciones basadas en el dictamen de expertos. Es una *buena práctica* obtener estimaciones de incertidumbre al nivel de la planta, las cuales deberían ser menores que los valores de incertidumbre asociados a los valores por defecto.

3.7.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Allí donde los datos de la actividad hayan sido obtenidos de las plantas, las estimaciones de incertidumbre pueden obtenerse a través de los productores. Esto debe incluir estimaciones de incertidumbres para el uso de agente reductor, entradas carbotérmicas y datos de producción. Por lo general, los datos que se obtienen de los organismos nacionales de estadísticas no incluyen estimaciones de incertidumbre. Es una *buena práctica* consultar los organismos nacionales de estadísticas para obtener información sobre cualquier error de muestreo. Allí donde los organismos nacionales de estadísticas recopilan datos de la población de instalaciones de producción de dióxido de titanio, no es de esperar que las incertidumbres en las estadísticas nacionales difieran de las incertidumbres establecidas a partir de consultas realizadas al nivel de las plantas. Cuando no se disponga de valores de incertidumbre provenientes de otras fuentes, se puede usar un valor por defecto de ± 5 por ciento.

3.7.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

3.7.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6. También pueden ser aplicables verificaciones de control de calidad y procedimientos de garantía de calidad adicionales, en particular si al determinar las emisiones provenientes de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Comparación de los factores de emisión

Los compiladores del inventario deben verificar si los factores de emisión estimados están dentro del intervalo de los factores de emisión por defecto proporcionados para el método de Nivel 1 y, además, deben garantizar que los factores de emisión son coherentes con los valores derivados del análisis de la química del proceso. Por ejemplo, la tasa de generación de CO₂ para el rutilo TiO₂ a partir del cloruro, no debería ser inferior a 0,826 toneladas de CO₂ por tonelada de rutilo TiO₂ producido. Si los factores de emisión caen fuera de los intervalos estimados, es una *buena práctica* evaluar y documentar las condiciones específicas de la planta que dan cuenta de las diferencias.

Si se recopilan las mediciones de las emisiones provenientes de las plantas individuales, los compiladores del inventario deben garantizar que dichas mediciones hayan sido efectuadas según normas nacionales o internacionales reconocidas. Los procedimientos de GC practicados en la instalación deben declararse con referencias directas e incluirse en el plan de GC. Si las prácticas de medición no son coherentes con las normas de GC, los compiladores del inventario deben reconsiderar el uso de los datos correspondientes.

3.7.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias sobre las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

Verificación de los datos específicos de plantas

Para una auditoría adecuada de las estimaciones de emisiones se requieren los siguientes datos específicos de planta:

Los datos de la actividad que abarcan el consumo de carbono de electrodos (escoria de titanio), el uso del carbón como agente reductor (rutilo sintético), la entrada carbotérmica (rutilo TiO₂), la producción de escoria de titanio, la producción de rutilo sintético y la producción de rutilo TiO₂;

Los datos de emisión que incluyen el contenido de carbono del agente reductor (electrodo de carbón y carbón) y de la entrada carbotérmica (coque de petróleo), así como la proporción oxidada en el proceso;

El método utilizado para los cálculos y las estimaciones;

La lista de hipótesis formuladas;

La documentación sobre todas las mediciones específicas de las plantas y los resultados de tales mediciones.

Generalmente, los datos de producción y de procesos son considerados como propiedad industrial por los operadores, sobre todo cuando en un país hay sólo un reducido número de plantas. Es una buena práctica aplicar técnicas apropiadas, incluyendo la agregación de los datos, para garantizar la protección de los datos confidenciales.

3.8 PRODUCCIÓN DE CENIZA DE SOSA

3.8.1 Introducción

La ceniza de sosa (carbonato de sodio, Na₂CO₃) es un sólido cristalino blanco que se usa como materia prima en un gran número de industrias incluida la fabricación de vidrio, jabón y detergentes, producción de pulpa y papel y el tratamiento de aguas. El dióxido de carbono (CO₂) es emitido por el uso de la ceniza de sosa y estas emisiones se contabilizan como una fuente bajo la industria utilizadora pertinente, como se discute en el Volumen 3, Capítulo 2. También se emite CO₂ durante la producción y la cantidad emitida depende del proceso industrial empleado para fabricar la ceniza de sosa.

Las emisiones de CO₂ de la producción de ceniza de sosa varían de manera sustancial según el proceso de fabricación. Para producir ceniza de sosa se pueden emplear cuatro procesos diferentes. Tres de estos procesos, el del monohidrato, el del sesquicarbonato de sodio (trona) y el de la carbonización directa, se denominan procesos naturales. El cuarto, o proceso de Solvay, se clasifica como un proceso sintético. El carbonato de calcio (piedra caliza) se emplea como fuente de CO₂ para el proceso de Solvay. Los otros usos de la piedra caliza y de otros carbonatos se discuten en el Volumen 3, Capítulo 2.

3.8.2 Producción de la ceniza de sosa natural

Alrededor del 25 por ciento de la producción mundial se produce a partir de depósitos que contienen carbonato de sodio natural mediante los denominados procesos naturales. Durante el proceso de producción, el trona (el mineral principal del cual se extrae la ceniza de sosa natural) se calcina en un horno rotatorio de altas temperatura y se transforma químicamente en ceniza de sosa cruda. En este proceso se genera dióxido de carbono y agua, como productos derivados. Las emisiones de dióxido de carbono pueden estimarse basándose en la reacción química siguiente:



3.8.2.1 CUESTIONES METODOLÓGICAS

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La elección del método depende de las circunstancias nacionales. Las emisiones pueden estimarse utilizando un método basado en la salida (emisiones por unidad de salida) o en un método basado en la entrada (emisiones por unidad de entrada). Sin embargo, allí donde se disponga de datos es una *buena práctica* utilizar el método basado en la entrada.

Los métodos se clasifican según la cantidad de datos que estén disponibles al nivel de la planta. El método de Nivel 1 se basa en valores por defecto y en estadísticas nacionales y el método de Nivel 2 se basa en datos completos sobre la entrada o la salida al nivel de la planta y en factores de emisión específicos de la planta. Si existe un monitoreo y se efectúan mediciones directas de las emisiones de CO₂, esto sería equivalente a un método de Nivel 3.

Método de nivel 1

En la producción de ceniza de sosa natural se emite CO₂ por medio de la descomposición térmica (calcinación) del trona (Na₂CO₃·NaHCO₃·2H₂O) que produce la ceniza de sosa. Según la reacción química presentada más arriba, se necesitan 10,27 toneladas de trona para producir 1 tonelada de dióxido de carbono. En consecuencia, para la producción de ceniza de sosa natural que usa trona, las emisiones de dióxido de carbono pueden calcularse a partir de la entrada de trona o de la salida de ceniza de sosa natural, aplicando la fórmula siguiente:

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 3.14} \\ &\text{EMISIONES DE CO}_2 \text{ DE LA PRODUCCIÓN DE CENIZA DE SOSA NATURAL – NIVEL 1} \\ &E_{\text{CO}_2} = AD \cdot EF \end{aligned}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂, toneladas

AD = cantidad de trona utilizado o ceniza de sosa producida, toneladas de trona utilizado o toneladas de ceniza de sosa natural producida

EF = factor de emisión por unidad de entrada de trona o por unidad de salida de ceniza de sosa natural, toneladas de CO₂/toneladas de trona o toneladas de CO₂/toneladas de ceniza de sosa natural producida: $EF_{\text{trona}} = 0,097$ toneladas de CO₂/tonelada de trona, $EF_{\text{ceniza de sosa}} = 0,138$ toneladas de CO₂/toneladas de ceniza de sosa natural producida.

Es una buena práctica evaluar las estadísticas nacionales disponibles para los efectos de la exhaustividad. La elección del método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, como indica la Figura 3.7, Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ de la producción de ceniza de sosa natural. Si no se dispone de datos sobre la pureza de la entrada de trona, es una *buena práctica* suponer que es de un 90 por ciento y ajustar el factor de emisión presentado en la Ecuación 3.14

Método de nivel 2

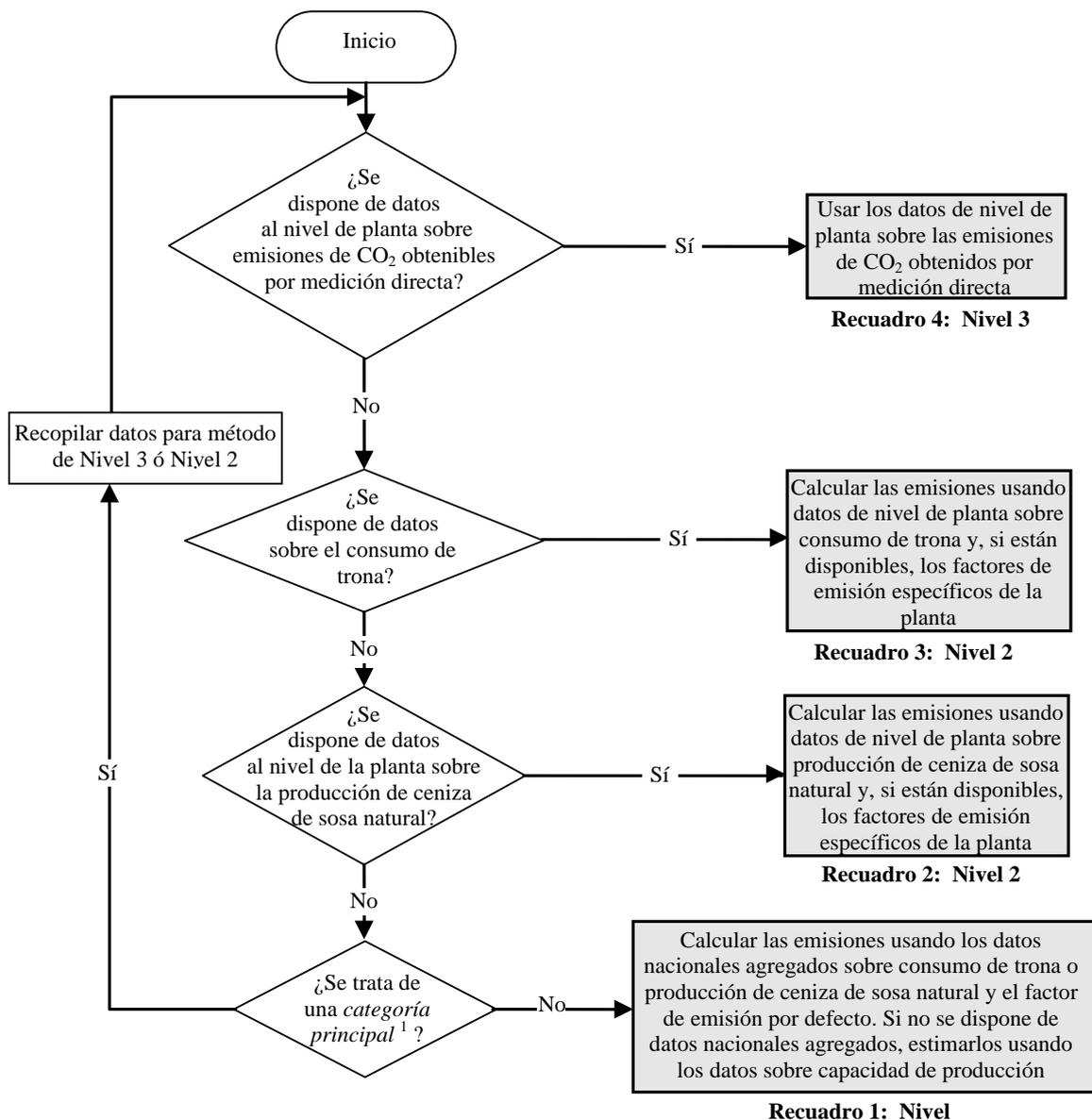
Para utilizar el método de Nivel 2 es necesario reunir los datos completos sobre el consumo de trona o sobre la producción de ceniza de sosa natural para cada una de las plantas del país, junto con factores de emisión específicos de las plantas para la entrada de trona o la salida de ceniza de sosa. Las emisiones de CO₂ para cada planta pueden calcularse empleando una de las variantes de la Ecuación 3.14. Para las plantas donde no se disponga de los factores de emisión específicos de la planta, se pueden usar los factores de emisión por defecto

proporcionados en la Ecuación 3.14. El total de las emisiones de CO₂ corresponde a la suma de las emisiones provenientes de todas las plantas.

Método de nivel 3

En el método de Nivel 3 se usan datos de emisión de CO₂ al nivel de planta obtenidos por medición directa. El total de las emisiones corresponde a la suma de las emisiones provenientes de todas las plantas.

Figura 3.7 **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de ceniza de sosa natural**



Nota

1. Para una discusión sobre las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1, Capítulo 4, Opción metodológica e identificación de las categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Método de nivel 1

En el método de Nivel 1 se usan los factores de emisión por defecto presentados en la Ecuación 3.14. Dichos factores de emisión por defecto se derivan del cociente estequiométrico entre la ceniza de sosa producida y el sesquicarbonato de sodio purificado obtenido de trona. Se basan en el principal proceso de producción natural utilizado en la actualidad, en el cual la ceniza de sosa se produce por calcinación de sesquicarbonato de sodio purificado.

Método de nivel 2

Para el método de Nivel 2 se requieren factores de emisión al nivel de planta por unidad de entrada de trona o por unidad de salida de ceniza de sosa natural. Los factores de emisión al nivel de plantas deben reflejar la pureza fraccional de la entrada de trona y de la salida de ceniza de sosa natural y es una *buena práctica* garantizar que se toman en cuenta en la derivación de los factores de emisión al nivel de plantas.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Es una *buena práctica* recopilar, datos de la actividad con un nivel de detalle que permita el empleo de los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3. Al aplicar los métodos, es esencial hacer una clara distinción entre los productos para evitar multiplicar los datos de la actividad por un factor de emisión incorrecto.

Método de nivel 1

Para el método de Nivel 1 se requieren datos sobre el consumo nacional de trona o sobre la producción nacional de ceniza de sosa natural. Si no se dispone de datos de la actividad al nivel nacional, se puede utilizar la información sobre la capacidad de producción con estimaciones de emisiones realizadas utilizando un factor de emisión por defecto. Es una *buena práctica* multiplicar la capacidad total de producción nacional por un factor de utilización de la capacidad de 80 ± 10 por ciento (es decir, un intervalo entre 70 y 90 por ciento).

Método de nivel 2

Para usar el método de Nivel 2, se deben recopilar datos de la actividad al nivel de plantas. Los datos más importantes son: la cantidad de trona utilizada para la producción de ceniza de sosa y la cantidad de ceniza de sosa natural que se produce en cada planta. Aunque la producción de ceniza de sosa no se emplee en el cálculo si las emisiones se derivan de la entrada de trona, es una *buena práctica* recopilar y declarar estos datos para permitir la comparación de las entradas por unidad de salidas en el transcurso del tiempo y proporcionar una base sólida que garantice la coherencia de la serie temporal.

EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad de los datos de la actividad (p. ej., la utilización de trona) es un atributo clave de las *buenas prácticas*. Por lo tanto, es una *buena práctica* evaluar las estadísticas nacionales disponibles para los efectos de la exhaustividad. Si se dispone de datos al nivel de plantas, es una *buena práctica* agregar estos datos y verificar el resultado con los datos disponibles al nivel nacional. Esta práctica permite determinar si se ha omitido algún productor significativo de ceniza de sosa y garantizar que todos los procesos de producción del país hayan sido considerados. Si no se dispone de datos al nivel de plantas, es una *buena práctica* utilizar los datos sobre capacidad de producción junto con estadísticas nacionales para estimar las emisiones para los efectos de la exhaustividad.

DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Es una buena práctica calcular las emisiones provenientes de la ceniza de sosa empleando el mismo método para todos los años de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método más riguroso aplicable a todos los años de la serie temporal, la *buena práctica* consiste en recalcular las carencias según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

3.8.2.2 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE**INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN**

El cociente estequiométrico es un número exacto y si se supone una pureza de 100 por ciento en la entrada o en la salida, la incertidumbre del factor de emisión por defecto es insignificante. Sin embargo, los factores por defecto no toman en cuenta las purezas fraccionales, ni de la entrada de trona ni de la salida de ceniza de sosa, y en ambos casos han de preverse sobreestimaciones consecuentes de las emisiones. Tal como se señaló antes, si no se dispone de datos sobre la pureza de la entrada de trona, es una buena práctica suponer que es de un 90 por ciento y ajustar el factor de emisión presentado en la Ecuación 3.14 Es una *buena práctica* desarrollar estimaciones de incertidumbre basándose en los datos al nivel de planta.

INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Allí donde los datos de la actividad hayan sido obtenidos de las plantas, las estimaciones de incertidumbre pueden obtenerse a través de los productores. En esto se incluyen las estimaciones de la incertidumbre para la trona utilizada y la ceniza de sosa natural producida. Los datos que se obtienen de los organismos nacionales de estadísticas, generalmente no incluyen estimaciones de incertidumbre Es una *buena práctica* consultar los organismos nacionales de estadísticas para obtener información sobre cualquier error de muestreo. Allí donde los organismos nacionales de estadísticas recopilan datos de la población de plantas de producción de ceniza de

sosa, no es de esperar que las incertidumbres en las estadísticas nacionales difieran de las incertidumbres establecidas a partir de consultas realizadas al nivel de las plantas. Cuando no se disponga de valores de incertidumbre provenientes de otras fuentes, se puede usar un valor por defecto de ± 5 por ciento.

3.8.2.3 GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD (GC/CC), GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, y procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones provenientes de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se exhorta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos

Si se emplea el método «de abajo hacia arriba», los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones de emisiones con las estimaciones calculadas mediante el método «de arriba hacia abajo». Los resultados de tales comparaciones deben registrarse con fines de documentación interna, incluidas las explicaciones sobre cualquier discrepancia.

GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, así como toda la información necesaria para reproducir las estimaciones.

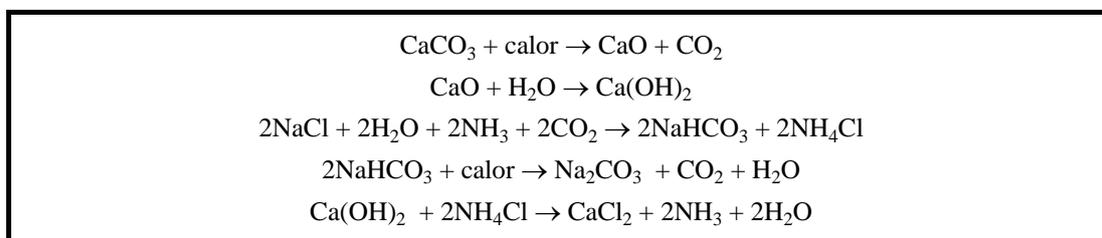
Aparte de las emisiones, es una *buena práctica* declarar los datos de la actividad empleados en el cálculo (utilización de trona) y los factores de emisión correspondientes junto con las hipótesis aplicadas en la derivación.

Con el fin de preservar una serie temporal de emisiones internamente coherente, cada vez que se cambien los métodos nacionales, es una *buena práctica* recalcular por completo la serie temporal. Si la confidencialidad es un asunto importante para cualquier tipo de producción, las estimaciones pueden agregarse en la mínima medida posible que garantice la confidencialidad.

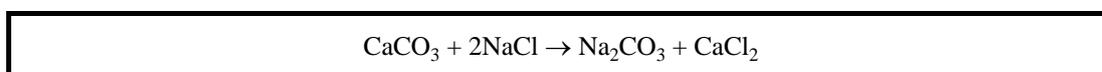
Además, los compiladores del inventario deben documentar los procedimientos de GC/CC.

3.8.3 Producción de ceniza de sosa sintética Solvay

Alrededor del 75 por ciento de la producción mundial de ceniza de sosa es ceniza de sosa sintética fabricada a partir del cloruro de sodio. En el proceso Solvay, la salmuera de cloruro de sodio, la piedra caliza, el coque metalúrgico y el amoníaco son las materias primas que se emplean en una serie de reacciones que conducen a la producción de ceniza de sosa. Sin embargo, el amoníaco es reciclado y sólo se pierde una pequeña cantidad. La serie de reacciones involucradas en el proceso Solvay pueden describirse de la siguiente manera:



La reacción neta global puede resumirse así:



De la serie de reacciones presentadas arriba, el CO_2 se genera en dos procesos de pirolisis. El CO_2 generado se captura, se comprime y se dirige a las torres Solvay de precipitado para su consumo en una mezcla de salmuera (NaCl acuoso) y amoníaco. Aunque el CO_2 se genera como producto derivado, éste se recupera y se recicla para

utilizarlo en la etapa de carbonación y en teoría el proceso es neutro, vale decir, el CO₂ que se genera iguala al que se reinyecta.

En la práctica, parte del CO₂ es emitido hacia la atmósfera durante la producción por el proceso Solvay pues se produce más CO₂ que lo requerido por la estequiometría. El exceso de CO₂ proviene de la calcinación de la piedra caliza con coque de grado metalúrgico. La piedra caliza se combina con el coque en una proporción de 7 por ciento de piedra caliza por peso, aproximadamente.

La estimación de las emisiones de CO₂ de una planta autónoma de ceniza de sosa debe basarse en un balance general del CO₂ en torno al proceso químico en su totalidad. Para los efectos del inventario, se puede usar una versión simplificada del balance suponiendo que las emisiones de CO₂ resultan de la oxidación estequiométrica del carbono de coque. El proceso Solvay amoniacal de producción de ceniza de sosa es una actividad química industrial y las emisiones deben declararse bajo el Sector Procesos industriales y uso de productos (IPPU).

RECUADRO 3.7
CÓMPUTO DOBLE

Con el fin de evitar el cómputo doble, las emisiones de CO₂ generadas en el proceso de producción de la ceniza de sosa deben declararse en **Sector IPPU** y no deben incluirse en el **Sector Energía**. El coque utilizado en el proceso de producción debe deducirse del **Sector Energía** en calidad de uso no energético del coque.

3.8.3.1 GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD (GC/CC), GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

La atribución de las emisiones provenientes del uso del coque de grado metalúrgico en el proceso Solvay al **Sector Energía** significa que no se ha previsto una metodología para estimar estas emisiones en el **Sector Procesos industriales y usos de los productos**. Sin embargo, los datos sobre la producción de ceniza de sosa a partir del proceso Solvay deben recopilarse y cotejarse para garantizar que todos los datos sobre producción de ceniza de sosa están disponibles para ser registrados, declarados, archivados y puestos en concordancia con las estadísticas nacionales sobre el uso de la ceniza de sosa.

GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Constituye una *buena práctica* realizar verificaciones de control de calidad, como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, y procedimientos adicionales de garantía de calidad. Se insta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, así como toda la información necesaria para reproducir las estimaciones.

3.9 PRODUCCIÓN PETROQUÍMICA Y DEL NEGRO DE HUMO

3.9.1 Introducción

La industria petroquímica utiliza combustibles fósiles (p. ej., gas natural) o productos de refinería de petróleo (p. ej., nafta) como alimentación a procesos. En esta sección se brinda una orientación para estimar las emisiones provenientes de la producción de metanol, etileno y propileno², dicloruro de etileno, óxido de etileno y

² Nótese que no existe una metodología de inventario aparte para el propileno. Se supone que el propileno es un producto derivado de la producción de etileno.

acrilonitrilo. Estos productos petroquímicos son considerados en detalle porque el volumen de su producción mundial y sus emisiones asociadas de gases de efecto invernadero son relativamente grandes. Sin embargo, no se pretende que los productos químicos incluidos representen la totalidad del sector del proceso petroquímico. Existen varios otros procesos petroquímicos que emiten pequeñas cantidades de gases de efecto invernadero para los cuales no se provee una orientación específica (p. ej., la producción de estireno).

En esta sección también se brinda una orientación para la producción de negro de humo. El negro de humo no es considerado un producto petroquímico; sin embargo, el proceso de producción de negro de humo utiliza sustancias petroquímicas como alimentación al proceso. Las emisiones provenientes de la producción de negro de humo son inferiores a las de los procesos petroquímicos pero pueden ser significativas para algunos países.

Los ejemplos de sustancias de alimentación a las cadenas de producción del metanol, etileno y propileno, dicloruro de etileno, óxido de etileno, acrilonitrilo y negro de humo se incluyen en el Anexo de la Sección 3.9.

Asignación y declaración

En el ámbito de la industria petroquímica y de la industria del negro de humo, los combustibles fósiles primarios (gas natural, petróleo, carbón) se utilizan con fines no combustibles en la fabricación de productos petroquímicos y de negro de humo. El uso de estos combustibles fósiles primarios puede implicar la combustión de una parte del contenido de hidrocarburo para aumentar el calor y producir combustibles secundarios (p. ej., descargas gaseosas).

Las emisiones provenientes de la combustión de los combustibles obtenidos de la alimentación a procesos deben atribuirse a la categoría de fuente en el Sector IPPU. Sin embargo, allí donde los combustibles no se usan dentro de la categoría de fuente, pero se transfieren fuera del proceso para su combustión en otras partes (p. ej., con propósitos de generación de calor en el distrito) las emisiones deben declararse en la categoría adecuada del Sector Energía. Las industrias están incluidas en la categoría de fuente Industria Química (2B1 – 2B10), véase la Figura 1.1, Categorías de fuente de Procesos industriales y uso de productos en el Capítulo 1 de este volumen. Se analiza más el uso no energético de los combustibles en los Capítulos 1 y 5 de este volumen.

Nótese que las estadísticas sobre la energía nacional pueden incluir la combustión total de los combustibles fósiles (incluidos el gas natural, el petróleo y el carbón) y también de los combustibles secundarios (tales como las descargas gaseosas de los procesos industriales) para la producción de energía. Es importante investigar si los combustibles utilizados en las industrias petroquímicas están incluidos en las estadísticas nacionales sobre energía. De ser así, las emisiones provenientes de los procesos petroquímicos deben restarse de las emisiones calculadas para el sector energía con el fin de evitar el cómputo doble. Esto es de una pertinencia particular en los casos del etileno y del metanol, donde el consumo de combustibles primarios (p. ej., gas natural, etano, propano) de alimentación al proceso puede estar declarado en las estadísticas nacionales sobre energía.

En el caso de que una planta haya instalado y utilice una tecnología de captura de dióxido de carbono (CO₂), es una *buena práctica* restar el CO₂ capturado de los cálculos de emisiones de nivel superior. Por defecto, se supone que no hay captura ni almacenamiento (CCS) de CO₂. En toda metodología que tome en cuenta la captura de CO₂, debe considerarse que las emisiones de CO₂ capturado en el proceso pueden estar relacionadas, a la vez, tanto con la combustión como con el proceso. En los casos en los que las emisiones debidas a la combustión y al proceso deban declararse por separado, los compiladores del inventario deben garantizar que las mismas cantidades de CO₂ no sean contabilizadas por partida doble. En estos casos, la cantidad total de CO₂ capturado debe declararse preferentemente en las correspondientes categorías de fuente de Energía e IPPU, en proporción con las cantidades de CO₂ generado en estas categorías de fuente. Para más información sobre captura de CO₂ y almacenamiento refiérase al Volumen 3, Sección 1.2.2 y para mayores detalles sobre captura y almacenamiento, al Volumen 2, Sección 2.3.4.

Los procesos petroquímicos pueden utilizar el CO₂ capturado en otros lugares con el fin de alimentar los procesos y el CO₂ puede capturarse también de los procesos petroquímicos. Esto puede crear problemas potenciales de cómputo doble. Por ejemplo, algunas plantas de metanol pueden utilizar CO₂ como producto derivado capturado desde otros procesos industriales en calidad de alimentación al proceso de producción del metanol. Para evitar el cómputo doble, no debe declararse el CO₂ capturado como emisiones de CO₂ del proceso donde se ha capturado.

METANOL

Casi todo el metanol se fabrica mundialmente por la vía del reformado al vapor del gas natural. El reformado al vapor y la reacción de desplazamiento producen «gas de síntesis» compuesto de CO₂, monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂). El proceso de producción del metanol a partir de gas natural produce metanol y los productos derivados del gas de síntesis, CO₂, CO, y H₂. Hay varios procesos alternativos para producir metanol a partir del gas natural u otros combustibles de alimentación a procesos. Entre éstos se incluyen los procesos de reformado convencional, de reformado combinado y de oxidación parcial. Un ejemplo de diagrama de flujo de un «proceso de alimentación-producto» para la producción de metanol se presenta en el Anexo de la Sección 3.9 (Anexo 3.9A). En el Recuadro 3.8 se incluyen descripciones del proceso de producción del metanol.

RECUADRO 3.8
DESCRIPCIONES DEL PROCESO DEL METANOL

Proceso de reformado convencional

El proceso de reformado convencional para la producción de metanol incluye el reformado al vapor (que puede incluir, una única unidad de reformado, o bien una dupla formada por una unidad de reformado primaria con una unidad de reformado secundaria) y la síntesis de metanol. Las ecuaciones generales del proceso de reformado convencional son:

<u>Reformado al vapor</u> $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3 H_2$ $C_nH_m + nH_2O \rightarrow nCO + (m/2 + n) H_2$	<u>Reacción de desplazamiento</u> $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	<u>Producción de metanol</u> $CO + 2 H_2 \rightarrow CH_3OH$ $CO_2 + 3 H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O$
<u>Reformado/Reacción de desplazamiento</u> $2 CH_4 + 3 H_2O \rightarrow CO + CO_2 + 7 H_2$	<u>Producción de metanol</u> $CO + CO_2 + 7 H_2 \rightarrow 2 CH_3OH + 2 H_2 + H_2O$	

El hidrógeno excedente de este proceso y el gas de purga del proceso del metanol que contiene metano y compuestos orgánicos volátiles diferentes del (COVDM), se recuperan y se queman para la recuperación de energía, generalmente dentro del proceso de producción del metanol, para producir vapor de proceso y/o electricidad para el proceso. El proceso de reformado convencional puede utilizar CO₂ capturado desde otros procesos industriales, en calidad de sustancia complementaria de alimentación al proceso de producción del metanol.

Proceso de reformado combinado

El proceso de reformado combinado combina el proceso de reformado al vapor convencional con un proceso de oxidación catalítica parcial. Las ecuaciones químicas de la oxidación catalítica parcial son:

<u>Reacción de Reformado al vapor del etanol</u> $CH_4 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO + 2 H_2 \rightarrow CH_3OH$	<u>Reacción de oxidación de la alimentación al proceso</u> $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2$
--	---

El proceso de reformado combinado produce un gas de síntesis que contiene una proporción más equilibrada de hidrógeno respecto del monóxido de carbono (CO) y del CO₂ que la del proceso de reformado convencional y no produce una corriente de gas hidrógeno para recuperación de energía. El proceso de reformado combinado produce un gas de purga que contiene CH₄, el cual se quema para recuperar energía dentro del proceso del metanol.

Otros Procesos de producción

El metanol puede producirse también a partir de la oxidación parcial del petróleo, del carbón o de sustancias petroquímicas de alimentación a procesos, o bien, de la gasificación del carbón en gas de síntesis. Sin embargo, estas sustancias de alimentación a procesos y estos procesos representan actualmente sólo una pequeña parte de la producción mundial de metanol.

ETILENO

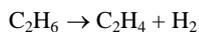
Casi todo el metanol se fabrica mundialmente por vía de la escisión al vapor de sustancias petroquímicas de alimentación a procesos. El etileno puede producirse mediante la escisión al vapor de las sustancias petroquímicas de alimentación a procesos en una planta petroquímica y puede producirse también mediante la escisión y otros procesos operados en las refinerías de petróleo. La escisión al vapor para la producción de etileno da por resultado también productos secundarios, incluidos el propileno y el butadieno. En el Recuadro 3.9 se presenta una descripción del proceso de escisión al vapor para la producción de etileno.

RECUADRO 3.9
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL ETILENO

Escisión al vapor

La ecuación química fundamental para la producción de etileno es la siguiente:

Deshidrogenación del etano en etileno



Los tipos y las mezclas de sustancias de alimentación a procesos utilizados en la escisión al vapor para la producción de etileno varían según la región e incluyen sustancias como el etano, propano, butano, nafta, gasóleo y otras sustancias petroquímicas de alimentación a procesos. En Estados Unidos, la mayor parte del etileno se produce a partir de la escisión al vapor del etano, mientras que en Europa, Corea y Japón, la mayor parte del etileno se produce a partir de la escisión al vapor de la nafta.

La escisión al vapor de las sustancias petroquímicas de alimentación a procesos para producir etileno genera también otros productos petroquímicos de alto valor comercial, incluidos el propileno, el butadieno y los compuestos aromáticos. La mayor parte del propileno se produce mundialmente en las refinerías de petróleo como producto derivado de la producción de etileno, recuperándolo ya sea del fraccionador al vapor o de las unidades de desintegración catalítica fluida. Los fraccionadores al vapor que utilizan nafta como alimentación al proceso son la fuente más importante de propileno. Existen otras tecnologías de proceso que se usan para producir propileno, incluida la deshidrogenación catalítica del propano. Nótese que los métodos de estimación de emisiones de esta sección se aplican sólo a la producción de etileno y propileno en fraccionadores al vapor y no se aplican a otras tecnologías de proceso utilizadas para producir etileno o propileno. El proceso de escisión al vapor genera también productos derivados, como el hidrógeno, el metano y los hidrocarburos C4+, que generalmente se queman para recuperar energía al interior del proceso.

(Houdek, 2005: Figura 1 de la Página 3, Página 4)

DICLORURO DE ETILENO Y MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO

Casi todo el dicloruro etileno (1,2-dicloroetano) se fabrica mundialmente por la vía de la cloración directa o de la oxiclорación del etileno, o bien por una combinación de ambos procesos (denominado «proceso equilibrado»). Un ejemplo de diagrama de flujo de un proceso de alimentación al producto para la producción de dicloruro de etileno se presenta en el Anexo de la Sección 3.9 (Anexo 3.9A). Más abajo, en el Recuadro 3.10 se presentan descripciones del proceso de producción del dicloruro de etileno y del monómero de cloruro de vinilo. Nótese que el compuesto químico «dicloruro de etileno» se denomina también 1,2-dicloroetano. El compuesto químico «dicloroetileno», denominado también 1,2-dicloroeteno, es un compuesto diferente.

RECUADRO 3.10
DESCRIPCIONES DEL PROCESO DEL DICLORURO DE ETILENO Y DEL MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO

Proceso de cloración directa y de Oxiclорación

El proceso de cloración directa implica una reacción en fase gaseosa del etileno con cloro para producir dicloruro de etileno. El proceso de oxiclорación implica una reacción en fase gaseosa del etileno con ácido clorhídrico y oxígeno para producir dicloruro de etileno y agua. Luego, el dicloruro de etileno se fracciona para producir monómero de cloruro de vinilo y ácido clorhídrico. El proceso de oxiclорación produce una descarga gaseosa que contiene CO₂ como producto derivado producido por la oxidación directa de la alimentación del etileno al proceso.

Las ecuaciones químicas fundamentales para el proceso de cloración directa y de oxiclорación son las siguientes:

<u>Cloración directa</u> $C_2H_4 + Cl_2 \rightarrow C_2H_4Cl_2$	<u>Reacción de oxiclорación</u> $C_2H_4 + \frac{1}{2} O_2 + 2 HCl$ $\rightarrow C_2H_4Cl_2 + H_2O$ [$C_2H_4 + 3 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + 2 H_2O$]	<u>Dicloruro de etileno > cloruro de vinilo</u> $2 C_2H_4Cl_2 \rightarrow 2 CH_2CHCl + 2 HCl$
--	--	---

RECUADRO 3.10 (CONTINUACIÓN)

DESCRIPCIONES DEL PROCESO DEL DICLORURO DE ETILENO Y DEL MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO

Proceso equilibrado

La combinación del proceso de cloración directa que produce dicloruro de etileno con el proceso de escisión del dicloruro de etileno que produce monómero de cloruro de vinilo genera un excedente de cloruro de hidrógeno. El proceso de oxiclación proporciona un sumidero para el cloruro de hidrógeno. Por lo tanto, las instalaciones de producción de dicloruro de etileno y/o monómero de cloruro de vinilo pueden operar en un «proceso equilibrado» en el cual se combinan ambos procesos, el de cloración directa y el de oxiclación. El «proceso equilibrado» produce también un venteo de gases de proceso que contiene CO₂ como producto derivado de la oxidación directa del etileno de alimentación al proceso.

Las ecuaciones químicas fundamentales del «proceso equilibrado» para producir el monómero de cloruro de vinilo a partir del etileno son las siguientes:

<u>Reacción dicloruro de etileno – monómero de cloruro de vinilo</u> $2 \text{C}_2\text{H}_4 + \text{Cl}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CH}_2\text{CHCl} + \text{H}_2\text{O}$	<u>Reacción de oxidación de la alimentación al proceso</u> $[\text{C}_2\text{H}_4 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}]$
---	--

Los procesos de cloración directa y oxiclación para la producción de dicloruro de etileno no son eficientes al 100 por ciento en la utilización del etileno de alimentación al proceso. Una fracción del orden del 3 por ciento del etileno que alimenta el proceso no se convierte en dicloruro de etileno, sino en CO₂ (por oxidación directa en el proceso de oxiclación) ni en otro hidrocarburo clorado (ya sea en el proceso de oxiclación o en el de cloración directa). La descarga gaseosa del proceso que contiene otros hidrocarburos clorados es tratada generalmente antes de ser descargada hacia la atmósfera. Los hidrocarburos clorados se convierten en CO₂ en un proceso de incineración térmico o catalítico. La mayor parte de las plantas de dicloruro de etileno y/o de monómero de cloruro de vinilo recuperan energía del incinerador de descargas gaseosas y de las descargas gaseosas del proceso.

ÓXIDO DE ETILENO

El óxido de etileno (C₂H₄O) se fabrica haciendo reaccionar el etileno con oxígeno en presencia de un catalizador. El CO₂ como producto derivado de la oxidación directa del etileno de alimentación al proceso, se elimina de la corriente de venteo del proceso utilizando una solución de carbonato reciclado y el CO₂ recuperado puede ventearse hacia la atmósfera o recuperarse para una utilización ulterior (p. ej., producción de alimentos). El oxígeno puede suministrarse al proceso, ya sea mediante aire o como oxígeno puro separado del aire. Un ejemplo de diagrama de flujo de un proceso de alimentación a producto para la producción de óxido de etileno se presenta en un Anexo de la Sección 3.9 (Anexo 3.9A). En el Recuadro 3.11, a continuación, se presenta una descripción del proceso de producción de óxido de etileno.

RECUADRO 3.11

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL ÓXIDO DE ETILENO

Las ecuaciones químicas fundamentales para la producción de óxido de etileno a partir del etileno y la producción de glicol de monoetileno son las siguientes:

<u>Reacción del óxido de etileno</u> $\text{C}_2\text{H}_4 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	<u>Reacción de oxidación de la alimentación al proceso</u> $\text{C}_2\text{H}_4 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	<u>Producción de glicol de monoetileno</u> $\text{C}_2\text{H}_4\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HO}-\text{C}_2\text{H}_4-\text{OH}$
--	--	--

El cociente de reacción del óxido de etileno y la reacción del producto derivado definen la selectividad del proceso del óxido de etileno, en términos de toneladas de etileno consumido por tonelada de dióxido de etileno producido. La reacción combinada de óxido de etileno con la de producto derivado es exotérmica y genera calor, el cual se recupera con el fin de producir vapor para el proceso. El proceso del óxido de etileno produce también otros productos derivados líquidos y descargas gaseosas (p. ej., etano), el cual puede quemarse para recuperar energía al interior del proceso. La cantidad de CO₂ y otros productos derivados producidos en el proceso y la cantidad de vapor producido desde el proceso depende de la selectividad del proceso.

El óxido de etileno se emplea como sustancia de alimentación a los procesos de fabricación de los glicoles, ésteres de glicol, alcoholes y aminas. Alrededor de un 70 por ciento del óxido de etileno producido mundialmente se utiliza en la fabricación de glicoles, incluido el glicol de monoetileno.

ACRILONITRILO

Más del 90 por ciento del acrilonitrilo (cianuro de vinilo) que se produce mundialmente se fabrica por la vía de la amoxidación directa del propileno con amoníaco (NH₃) y oxígeno en presencia de un agente catalizador. Este proceso se denomina proceso SOHIO, por sus siglas, del nombre de la compañía *Standard Oil Company of Ohio*. El acrilonitrilo puede fabricarse también por amoxidación del propano o directamente de la reacción del propano con peróxido de hidrógeno. El proceso directo propano-peróxido ha sido comercializado recientemente por *British Petroleum* (BP) y otros fabricantes (DOE, 2000). Sin embargo, no es fácil disponer de datos sobre el proceso de producción del acrilonitrilo a partir de la alimentación con propano. Por lo tanto, para este proceso no se provee una metodología de estimación de emisiones. Un ejemplo de diagrama de flujo de un «proceso de alimentación-producto» para la producción de propileno se presenta en el Anexo de la Sección 3.9 (Anexo 3.9A). En el siguiente Recuadro 3.12 se incluye una descripción del proceso de producción del acrilonitrilo.

RECUADRO 3.12
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL ACRILONITRILO

Proceso SOHIO

El proceso SOHIO recurre a una reacción de lecho fluidizado del propileno de grado químico, amoníaco y oxígeno, en presencia de agentes catalizadores. El catalizador es una mezcla de óxidos de metales pesados (incluidos el bismuto y el molibdeno). El proceso produce acrilonitrilo como producto primario y acetonitrilo (cianuro de metilo) y cianuro de hidrógeno (HCN) como productos secundarios. El rendimiento del proceso en producto primario de acrilonitrilo depende en parte del tipo de catalizador utilizado y de la configuración del proceso. El proceso de amoxidación produce también CO₂, CO y agua como productos derivados de la oxidación directa del propileno de alimentación al proceso, así como otros hidrocarburos resultantes de las reacciones secundarias del proceso de amoxidación.

El acetonitrilo y el cianuro de hidrógeno se separan del acrilonitrilo por absorción y el cianuro de hidrógeno puede utilizarse en la fabricación de otros productos en el mismo sitio o venderse como un producto. El cianuro de hidrógeno no utilizado ni vendido puede quemarse en antorcha o para recuperar energía. El acetonitrilo también puede recuperarse para la venta como producto, pero es más frecuente que se queme en antorcha o para recuperar energía. Las descargas gaseosas provenientes del respiradero principal de absorción, que contienen CO₂, CO, nitrógeno, agua, propileno sin reaccionar y otros hidrocarburos, pueden quemarse en antorcha o tratarse en una unidad de oxidación térmica o catalítica, con o sin recuperación de energía.

Los líquidos pesados de sedimentación de los procesos de absorción y separación del acetonitrilo – cianuro de hidrógeno – acrilonitrilo pueden también reciclarse o quemarse para recuperar energía. El acrilonitrilo y otros hidrocarburos no metano son liberados también desde los variados respiraderos de venteo, incluidos los tanques de almacenamiento. Estos variados venteos de proceso pueden quemarse en antorcha o capturarse para recuperar energía.

Las ecuaciones químicas fundamentales para la producción de acrilonitrilo por amoxidación son las siguientes:

<p><u>Reacción del acrilonitrilo</u></p> $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + 1.5 \text{ O}_2 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{CH}_2=\text{CHCN} + 3 \text{ H}_2\text{O}$	<p><u>Reacción del cianuro de hidrógeno</u></p> $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + 3 \text{ O}_2 + 3 \text{ NH}_3 \rightarrow 3 \text{ HCN} + 6 \text{ H}_2\text{O}$
<p><u>Reacción del acetonitrilo</u></p> $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + 1.5 \text{ O}_2 + 1.5 \text{ NH}_3 \rightarrow 1.5 \text{ CH}_3\text{CN} + 3 \text{ H}_2\text{O}$	<p><u>Oxidación de la alimentación al proceso</u></p> $\text{C}_3\text{H}_6 + 4.5 \text{ O}_2 \rightarrow 3 \text{ CO}_2 + 3 \text{ H}_2\text{O}$ $\text{C}_3\text{H}_6 + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 3 \text{ CO} + 3 \text{ H}_2\text{O}$

La amoxidación de propileno en acrilonitrilo no es eficiente al 100 por ciento en la utilización del propileno como alimentación al proceso. La conversión del propileno de alimentación al proceso en acrilonitrilo es del orden del 70 por ciento. Una fracción del orden del 85 por ciento del propileno de alimentación al proceso se convierte, ya sea en producto primario de acrilonitrilo o en productos secundarios como el acetonitrilo o el cianuro de hidrógeno. El resto del propileno de alimentación al proceso se convierte, ya sea directamente en CO₂ mediante la oxidación directa de la alimentación en el proceso de amoxidación o en otros hidrocarburos a través de las reacciones secundarias del proceso de amoxidación.

NEGRO DE HUMO

Casi todo el negro de humo que se produce mundialmente se fabrica a partir de sustancias de alimentación al proceso basadas en el petróleo o en el carbón mediante el proceso del «negro de horno». En el Recuadro 3.13, presentado más abajo, se incluyen descripciones del proceso de producción del negro de humo.

El proceso de negro de horno es un proceso de combustión parcial en el cual una parte de la alimentación al proceso se quema para proporcionar energía al mismo proceso. El negro de humo puede producirse también utilizando la oxidación parcial de otras sustancias de alimentación al proceso basadas en el petróleo o el carbón. El negro de humo puede producirse también por escisión térmica de las sustancias de alimentación que contienen acetileno («proceso del negro de acetileno») o de otros hidrocarburos («proceso del negro térmico»). Alrededor del 95 por ciento de la producción mundial de negro de humo se efectúa a través del proceso del negro de horno; el 5 por ciento restante se produce a través de otros procesos.

Cerca de un 90 por ciento del negro de humo producido mundialmente se usa en la industria de los neumáticos y del caucho (denominado «negro de caucho») y el resto se utiliza en aplicaciones de pigmentos (p. ej., las tintas) y otras aplicaciones (p. ej., las pilas secas de carbono). El negro de humo puede producirse utilizando un proceso de negro de horno, un proceso de negro térmico, un proceso de negro de carbono de acetileno, un proceso de negro canal y un proceso de negro de lámpara. Estos procesos se describen más detalladamente en el Recuadro 3.13, a continuación. Un ejemplo de diagrama de flujo de un «proceso de alimentación-producto» para la producción de negro de humo mediante el proceso de negro de horno se presenta en el Anexo de la Sección 3.9 (Anexo 3.9A).

RECUADRO 3.13
DESCRIPCIONES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL NEGRO DE HUMO

Proceso del negro de horno

El proceso del negro de horno produce negro de humo a partir de «sustancias de alimentación al proceso de negro de humo» (denominadas también «aceites de negro de humo») que son aceites pesados poliaromáticos que pueden obtenerse, ya sea como productos derivados del proceso de refinamiento del petróleo o del proceso de producción del coque metalúrgico (carbón). Tanto para las sustancias derivadas del petróleo como para las derivadas del carbón, la alimentación al proceso de negro de humo, o «alimentación primaria», se inyecta en un horno calentado por una «alimentación secundaria» (en general, gas natural o petróleo). Ambas alimentaciones al proceso, la secundaria de gas natural y una parte de la alimentación para el negro de humo, se oxidan para proporcionar calor al proceso de producción que piroliza la alimentación restante y genera negro de humo. El gas de venteo del proceso del negro de humo contiene CO₂, CO, compuestos de azufre, CH₄ y COVDM. Por lo general, una fracción del gas de cola se quema para recuperar energía y calentar secundariamente los secadores del producto negro de humo. El gas de cola restante puede quemarse para recuperar energía, en antorcha, o bien ventearse incontroladamente hacia la atmósfera.

Proceso del negro térmico

En el proceso del negro térmico se produce el negro de humo por descomposición térmica de hidrocarburos gaseosos o de aceites de petróleo atomizados en ausencia de aire en un par de hornos de producción. Las sustancias de alimentación al proceso del negro de humo se introducen en un horno precalentado que se calienta con una alimentación secundaria, generalmente gas natural, y con la descarga gaseosa del proceso del negro de humo. Uno de los hornos del par está en precalentamiento mediante la alimentación secundaria mientras el otro horno está recibiendo la alimentación para el negro de humo. El rendimiento de este proceso es cercano al 45 por ciento de la entrada total de carbono al proceso (o de 40 por ciento respecto del total de la alimentación para negro de humo utilizada) y la energía utilizada se aproxima a unos 280 MJ/kg. de negro de humo producido.

Proceso del negro de acetileno

El negro de humo se produce a partir del acetileno o de hidrocarburos ligeros que contienen acetileno mediante el suministro de esta alimentación al reactor precalentado, donde el acetileno se descompone en negro de humo por un proceso exotérmico. La producción mundial total de negro de acetileno es de sólo unas 40 000 toneladas métricas por año, aproximadamente. El rendimiento en negro de humo mediante este proceso es aproximadamente de un 95-99 por ciento del rendimiento teórico. El negro de acetileno contiene alrededor de un 99,7 por ciento de carbono.

Otros procesos de producción

El proceso del negro canal implica la oxidación parcial de una alimentación de carbono vaporizado que se quema en un horno con un gas de transporte (que puede ser gas de horno de coque, hidrógeno o metano). El rendimiento en negro de humo para este proceso puede alcanzar un 60 por ciento del total del carbono de entrada para la producción de negro de humo de grado-caucho o entre un 10 por ciento a un 30 por ciento del total de la entrada de carbono para el negro de humo de grado-pigmento.

El proceso del negro de lámpara implica la quema abierta de la alimentación para negro de humo en bandejas poco profundas. Los datos sobre el rendimiento de la alimentación y el consumo de energía del proceso del negro de lámpara no están fácilmente disponibles. Este proceso representa una parte insignificante de la producción mundial de negro de humo.

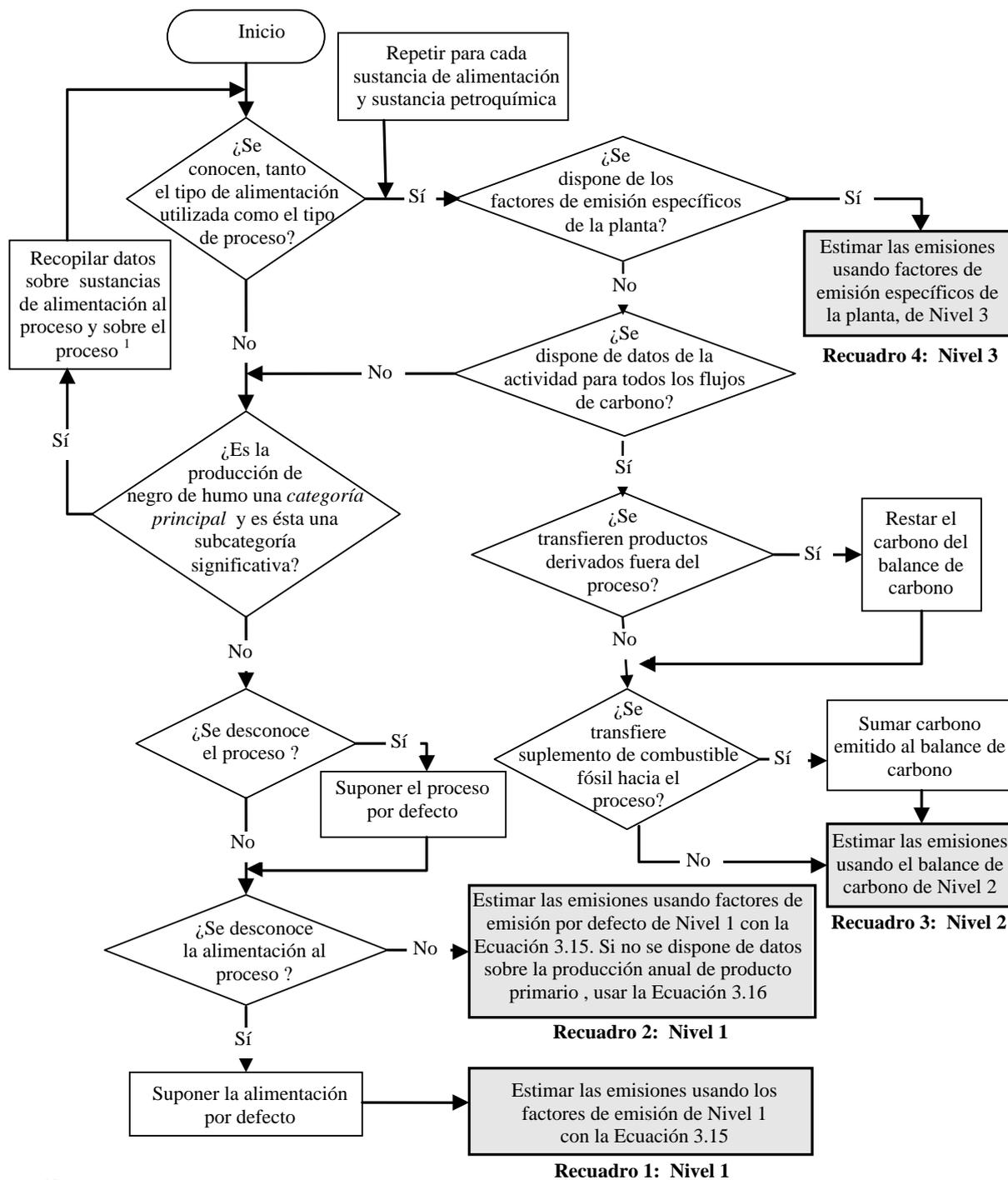
(Kirk Othmer, 1992)

3.9.2 Cuestiones metodológicas

3.9.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Las emisiones provenientes de la producción de sustancias petroquímicas y de negro de humo varían doblemente, según el proceso y la alimentación utilizados para el proceso. La elección del método debe por lo tanto repetirse para cada producto, proceso y alimentación utilizados. Se proporcionan tres niveles metodológicos según la disponibilidad de los datos. La elección del método depende de las circunstancias nacionales y se presenta en los árboles de decisión de las Figura 3.8 y 3.9

Figura 3.8 **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ provenientes de la industria petroquímica e industria del negro de humo**



Nota

1. Para una discusión sobre las categorías principales y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1, Capítulo 4, Opción metodológica e identificación de las categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

gaseosas). Para aplicar la metodología de Nivel 2 se deben caracterizar los flujos de alimentación primaria y secundaria al proceso y los flujos de productos primarios y secundarios, así como se deben caracterizar los flujos de los productos derivados que se queman para recuperar energía dentro del proceso y los flujos de productos derivados que se transfieren fuera del proceso.

DIÓXIDO DE CARBONO

El árbol de decisión para la elección del método para las emisiones de CO₂ se muestra en la Figura 3.8. Los métodos de Nivel 1, 2 y 3 se describen en esta sección.

Método de Nivel 1 para el factor de emisión basado en el producto

La metodología del factor de emisión de Nivel 1 se aplica para estimar las emisiones de CO₂ del proceso petroquímico en los casos en que no se dispone de datos específicos de planta ni de datos de la actividad sobre los flujos de carbono para el proceso petroquímico. El método del factor de emisión de Nivel 1 no requiere datos de la actividad sobre el consumo de cada alimentación que contiene carbono para el proceso de producción petroquímico. Éste requiere solamente datos de la actividad sobre la cantidad de producto producido. La metodología de Nivel 1 no considera el carbono contenido de las emisiones de monóxido de carbono o de COVDM que pueden generarse en los procesos petroquímicos. Las ecuaciones de esta sección para el proceso de producción petroquímico se aplican también a la producción de negro de humo.

En el método de Nivel 1, las emisiones provenientes de los procesos petroquímicos se calculan sobre la base de los datos de la actividad sobre la producción de cada sustancia petroquímica y el factor de emisión específico del proceso para cada sustancia, como se muestra en la Ecuación 3.15 para la producción de cada producto petroquímico primario (p. ej., metanol, etileno, dicloruro de etileno, óxido de etileno, acrilonitrilo) y del negro de humo.

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 3.15} \\ &\text{CÁLCULO DE LA EMISIÓN DE CO}_2 \text{ DE NIVEL 1} \\ &ECO_{2i} = PP_i \bullet EF_i \bullet GAF / 100 \end{aligned}$$

Donde:

ECO_{2i} = emisiones de CO₂ de la producción de la sustancia petroquímica *i*, toneladas

PP_i = producción anual de la sustancia petroquímica primaria *i*, toneladas

EF_i = factor de emisión de CO₂ para la sustancia petroquímica *i*, toneladas de CO₂/tonelada de producto producido

GAF = factor de ajuste geográfico (del inglés, *Geographic Adjustment Factor* (para el factor de emisión de CO₂ de Nivel 1 para la producción de etileno, véase Cuadro 3.15), porcentaje

Los factores de emisión de CO₂ para la producción de etileno (discutidos en la Sección 3.9.2.2) se han calculado basándose en los datos para los fraccionadores al vapor del etileno que operan en Europa Occidental. Los factores de ajuste geográfico (GAF) se aplican al factor de emisión de Nivel 1 para dar cuenta de la variabilidad regional de la eficiencia de los fraccionadores al vapor. Los factores de ajuste geográfico son aplicables sólo a la producción de etileno.

Si no se dispone de datos sobre la producción anual de productos primarios, la producción de producto primario puede estimarse del consumo de sustancias de alimentación al proceso, como se muestra en la Ecuación 3.16.

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 3.16} \\ &\text{CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTO PRIMARIO} \\ &PP_i = \sum_k (FA_{i,k} \bullet SPP_{i,k}) \end{aligned}$$

Donde:

PP_i = producción anual de la sustancia petroquímica primaria *i*, toneladas

FA_{i,k} = consumo anual de la sustancia de alimentación a procesos *k*, para producir la sustancia petroquímica *i*, toneladas

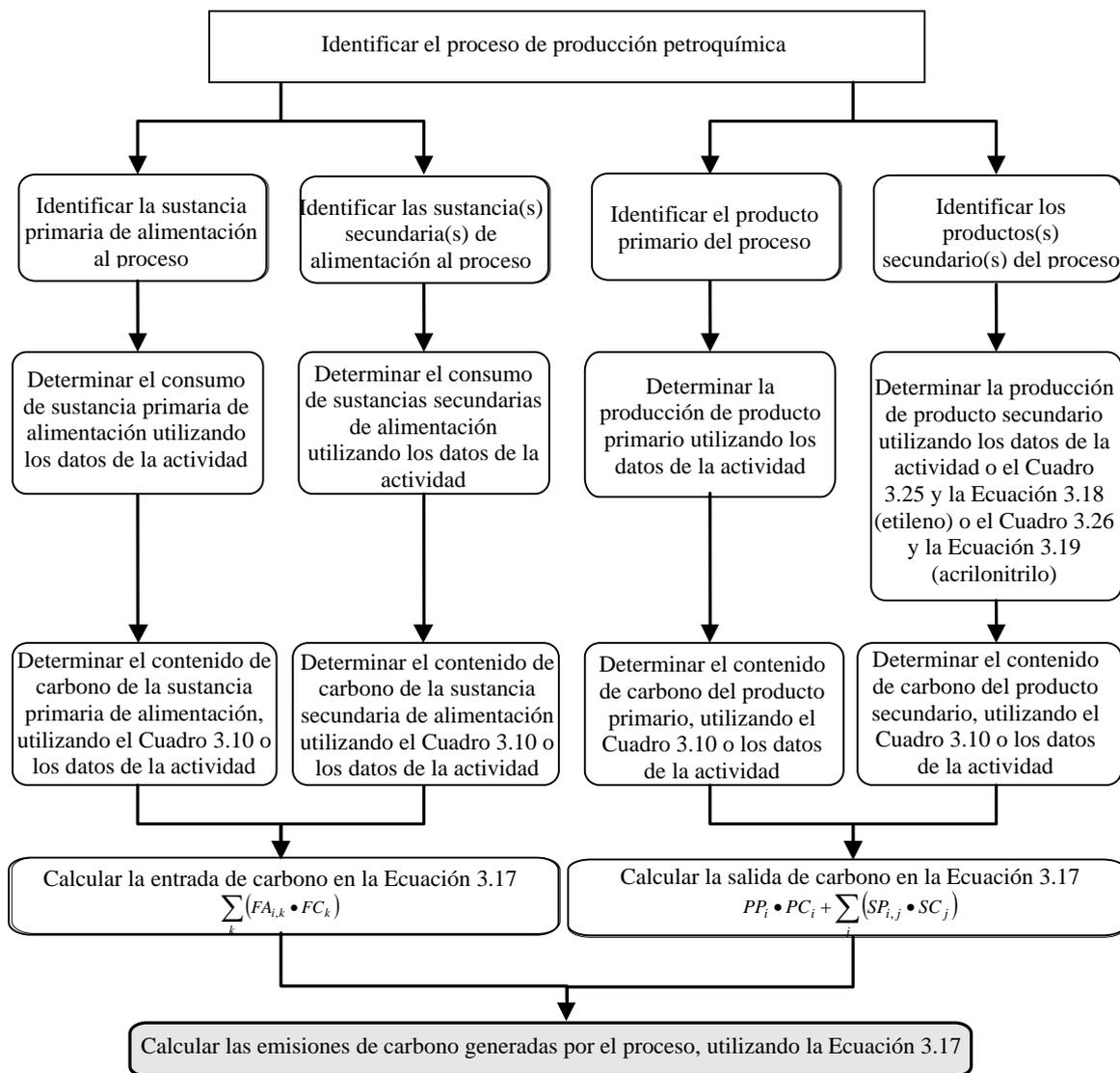
SPP_{i,k} = factor de producción específico del producto primario para la sustancia petroquímica *i* y para la sustancia de alimentación a procesos *k*, toneladas de producto primario/tonelada de sustancia de alimentación consumida

A cada una de las sustancias de alimentación para cada proceso petroquímico se aplica separadamente, ya sea la Ecuación 3.15, o bien ambas, Ecuación 3.15 y Ecuación 3.16. En el caso de la estimación de emisiones de Nivel 1 que se muestra en el Recuadro 1 de la Figura 3.8, se utilizará la Ecuación 3.15, mientras que para la estimación de emisiones que se muestra en el Recuadro 2 de la Figura 3.8, se utilizará, ya sea la Ecuación 3.15, o bien ambas, la 3.16 y la 3.15. La Ecuación 3.15 se utilizará sola en los casos en que se disponga de los datos sobre la producción anual de producto primario para el proceso petroquímico. En los casos en que no se disponga de datos sobre la producción anual de producto primario, pero en que se disponga de datos sobre el consumo de sustancias de alimentación al proceso petroquímico, para estimar la producción anual de productos primarios se utilizará la Ecuación 3.16 y esta estimación será aplicada luego a la Ecuación 3.15 para estimar las emisiones.

Método del balance de carbono de Nivel 2 para el total de alimentación al proceso

El método de Nivel 2 corresponde a un enfoque de balance de carbono específico de la alimentación al proceso y específico del proceso. Este enfoque es aplicable en los casos en que se disponga de datos de la actividad, a la vez sobre el consumo de sustancias de alimentación y sobre la producción y disposición de productos primarios y secundarios. Para implementar la metodología de Nivel 2 se requieren datos de la actividad sobre todos los flujos de carbono. Los ejemplos de diagramas de flujo de procesos que ilustran los flujos de sustancias de alimentación y de productos para los procesos de producción del metanol, dicloruro de etileno, óxido de etileno, acrilonitrilo y negro de humo se incluyen en un Anexo de la Sección 3.9. Para la producción de etileno por el proceso de escisión al vapor, el número de sustancias de alimentación y de productos es tal que el proceso se ilustra mejor mediante una matriz alimentación-producto que mediante un diagrama de flujo del proceso. La matriz alimentación-producto para la producción de etileno se incluye en el Cuadro 3.25 de la Sección 3.9.2.3. En la Figura 3.10 se muestra un diagrama de flujo del método de Nivel 2.

Figura 3.10 Diagrama de flujo del equilibrio de masas de carbono de Nivel 2



En el método de Nivel 2 se calcula la diferencia entre la cantidad total de carbono que entra en el proceso de producción como alimentación primaria y secundaria y la cantidad de carbono que sale del proceso en forma de productos petroquímicos. La diferencia entre el contenido de carbono de la alimentación primaria y secundaria y el contenido de carbono de los productos primarios y secundarios producidos por el proceso, y recuperados del mismo proceso, se calcula como CO₂. La metodología del equilibrio de masas de Nivel 2 se basa en la hipótesis de que todo el carbono de entrada al proceso se convierte, ya sea en productos primarios y secundarios, o bien en CO₂. Esto significa que se supone que todo carbono de entrada al proceso que se convierte en CO, CH₄ o COVDM se considera como CO₂ para los efectos de los cálculos del equilibrio de masas.

La ecuación general de equilibrio de masas para la metodología de Nivel 2 es la Ecuación 3.17.

ECUACIÓN 3.17
ECUACIÓN GENERAL DE EQUILIBRIO DE MASAS DE NIVEL 2

$$ECO2_i = \left\{ \sum_k (FA_{i,k} \cdot FC_k) - \left[PP_i \cdot PC_i + \sum_j (SP_{i,j} \cdot SC_j) \right] \right\} \cdot 44/12$$

Donde:

ECO_{2i} = emisiones de CO₂ de la producción de la sustancia petroquímica *i*, toneladas

FA_{i,k} = consumo anual de la sustancia de alimentación *k* para producir la sustancia petroquímica *i*, toneladas

FC_k = contenido de carbono de la sustancia de alimentación *k*, toneladas de C/tonelada de sustancia de alimentación a procesos

PP_i = producción anual de producto petroquímico primario *i*, toneladas

PC_i = contenido de carbono del producto petroquímico primario *i*, toneladas de C/tonelada de producto

SP_{i,j} = cantidad anual de producto secundario *j* producido en el proceso de producción del producto petroquímico *i*, toneladas [El valor de SP_{i,j} es cero para los procesos del metanol, dicloruro de etileno, óxido de etileno y negro de humo porque en éstos no se producen productos secundarios. Para calcular los valores de SP_{i,j} para la producción de etileno y acrilonitrilo, véanse más abajo las Ecuaciones 3.18 y 3.19 sobre la producción de productos secundarios]

SC_j = contenido de carbono del producto secundario *j*, toneladas de C/tonelada de producto

En el caso de la producción de etileno y acrilonitrilo, el proceso produce tanto productos primarios como secundarios. Si no se dispone de datos de la cantidad de productos secundarios producidos por estos procesos, la cantidad de productos secundarios puede estimarse mediante la aplicación de valores por defecto para el consumo de sustancias primarias de alimentación al proceso, como se muestra en las Ecuaciones 3.18 y 3.19:

ECUACIÓN 3.18
ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS SECUNDARIOS A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN DEL PRODUCTO PRIMARIO [ETILENO]

$$SP_{etileno,j} = \sum_k (FA_{etileno,k} \cdot SSP_{j,k})$$

Donde:

SP_{etileno,j} = producción anual de producto secundario *j* a partir de la producción de etileno, toneladas

FA_{etileno,k} = consumo anual de la sustancia de alimentación *k* consumida para la producción de etileno, toneladas

SSP_{j,k} = factor de producción específico del producto secundario para el producto secundario *j* y para la sustancia de alimentación *k*, toneladas de producto secundario/tonelada de sustancia de alimentación a proceso consumida

ECUACIÓN 3.19
ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS SECUNDARIOS A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTO PRIMARIO [ACRILONITRILO]

$$SP_{\text{acrilonitrilo},j} = \sum_k (FP_{\text{acrilonitrilo},k} \cdot SSP_{j,k})$$

Donde:

$SP_{\text{acrilonitrilo},j}$ = producción anual de producto secundario j de la producción de acrilonitrilo, toneladas

$FP_{\text{acrilonitrilo},k}$ = producción anual de acrilonitrilo a partir de la sustancia de alimentación k , toneladas

$SSP_{j,k}$ = factor de producción específico del producto secundario para el producto secundario j y para la sustancia de alimentación k , toneladas de producto secundario/tonelada de acrilonitrilo producido

Nota: Se prevé que en la mayoría de los casos se utilice sólo una sustancia de alimentación (propileno) para la producción de acrilonitrilo.

Contenido de carbono de las sustancias de alimentación y de los productos

El contenido de carbono de las sustancias de alimentación y de los productos de los procesos de producción petroquímicos se enumera en el Cuadro 3.10, en unidades de toneladas de carbono por tonelada de sustancia de alimentación o de producto. El contenido de carbono de las sustancias puras (p. ej., el metanol) se calcula con la fórmula química. El contenido de carbono de otras sustancias de alimentación y de otros productos (p. ej., sustancias de alimentación para el negro de humo, negro de humo) se estima a partir de las fuentes bibliográficas. El contenido de carbono representativo de los combustibles fósiles (p. ej., gas natural, nafta) puede consultarse en el Cuadro 1.3, del Capítulo 1, Volumen 2: Energía; sin embargo, el contenido de carbono de los combustibles fósiles varía según el país y la región y es mejor obtenerlo de las estadísticas nacionales sobre energía o de las especificaciones de los productos combustibles fósiles o de las normas nacionales.

Estimación directa de las emisiones específicas de planta de Nivel 3

El método de *buena práctica* más riguroso es el de utilizar datos específicos de la planta para calcular las emisiones de CO₂ provenientes de los procesos de producción petroquímicos. Para aplicar el método de Nivel 3 se requieren datos y/o mediciones específicos de la planta. Las emisiones provenientes del proceso de producción petroquímico incluyen el CO₂ emitido por los combustibles o los productos derivados de los procesos al quemarse para proveer calor o energía térmica al proceso de producción, el CO₂ emitido por los venteos en los procesos y el CO₂ emitido por la quema de gases de desecho en la antorcha. Estas misiones se calculan mediante las Ecuaciones 3.20 hasta 3.22.

Las emisiones globales de CO₂ del proceso de producción petroquímico se calculan mediante la Ecuación 3.20

ECUACIÓN 3.20
ECUACIÓN DE NIVEL 3 PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE CO₂

$$ECO2_i = E_{\text{combustión},i} + E_{\text{venteo del proceso},i} + E_{\text{quema en antorcha},i}$$

Donde:

$ECO2_i$ = emisiones de CO₂ de la producción de la sustancia petroquímica i , toneladas

$E_{\text{combustión},i}$ = CO₂ emitido por el combustible o los productos derivados del proceso quemados para proveer calor o energía térmica al proceso de producción del producto petroquímico i , toneladas

$E_{\text{venteo del proceso},i}$ = CO₂ emitido por los venteos del proceso durante la producción del producto petroquímico i , toneladas

$E_{\text{quema en antorcha},i}$ = CO₂ emitido por la quema en antorcha de los gases de desecho del proceso durante la producción del producto petroquímico i , toneladas

$E_{\text{combustión}}$ y $E_{\text{quema en antorcha}}$ están dados por las Ecuaciones 3.21 y 3.22, para las cuales deben utilizarse datos específicos de la planta o valores calóricos netos nacionales. El factor de emisión viene dado por el contenido de carbono del combustible, el factor de oxidación de la combustión y una constante (44/12) que convierte el resultado de carbono en CO₂. Si no se conoce el factor de emisión, puede encontrarse un valor por defecto en el Cuadro 1.4, en el Capítulo 1 del Volumen 2. Energía. Los valores calóricos netos se incluyen en el Cuadro 1.2, en el Capítulo 1 del Volumen 2: Energía. Los contenidos en carbono se incluyen en el Cuadro 1.3, en el Capítulo

1 del Volumen 2: Energía. Para los conteos del proceso, los compiladores del inventario deben medir y/o estimar las emisiones de CO₂ directamente y, en consecuencia, no se provee otra ecuación.

ECUACIÓN 3.21
CÁLCULO DE NIVEL 3 PARA LAS EMISIONES DE CO₂ DE LA QUEMA DE COMBUSTIBLE

$$E_{combustión,i} = \sum_k (FA_{i,k} \cdot VCN_k \cdot EF_k)$$

Donde:

FA_{i,k} = cantidad de combustible *k* consumido para producir el producto petroquímico *i*, toneladas

VCN_k = valor calórico neto del combustible *k*, TJ/tonelada

(Nota: En el Cuadro 1.2 del Capítulo 1 del Volumen 2, los valores caloríficos netos están expresados en TJ/kg.)

EF_k = factor de emisión de CO₂ del combustible *k*, toneladas de CO₂/TJ

(Nota: En el Cuadro 1.4 del Capítulo 1 del Volumen 2, los factores de emisión de CO₂ están expresados en kg./TJ)

ECUACIÓN 3.22
CÁLCULO DE NIVEL 3 PARA LAS EMISIONES DE CO₂ DE LA QUEMA EN ANTORCHA

$$E_{quema\ en\ antorcha,i} = \sum_k (FG_{i,k} \cdot VCN_k \cdot EF_k)$$

Donde:

FG_{i,k} = cantidad de gas *k* quemado en antorcha durante la producción del producto petroquímico *i*, toneladas

VCN_k = valor calórico neto del gas quemado en antorcha *k*, TJ/tonelada

(Nota: En el Cuadro 1.2 del Capítulo 1 del Volumen 2, los valores caloríficos netos están expresados en TJ/kg.)

EF_k = factor de emisión de CO₂ del gas quemado en antorcha *k*, toneladas de CO₂/TJ

(Nota: En el Cuadro 1.4 del Capítulo 1 del Volumen 2, los factores de emisión de CO₂ están expresados en kg./TJ)

CUADRO 3.10 CONTENIDO ESPECÍFICO EN CARBONO DE LAS SUSTANCIAS PETROQUÍMICAS DE ALIMENTACIÓN AL PROCESO Y DE LOS PRODUCTOS	
Sustancia	Carbono (tonelada de carbono por tonelada de sustancia de alimentación o de producto)
Acetonitrilo	0,5852
Acilonitrilo	0,6664
Butadieno	0,888
Negro de humo	0,970
Sustancia de alimentación al proceso del negro de humo	0,900
Etano	0,856
Etileno	0,856
Dicloruro de etileno	0,245
Glicol de etileno	0,387
Óxido de etileno	0,545
Cianuro de hidrógeno	0,4444
Metanol	0,375
Metano	0,749
Propano	0,817

CUADRO 3.10 CONTENIDO ESPECÍFICO EN CARBONO DE LAS SUSTANCIAS PETROQUÍMICAS DE ALIMENTACIÓN AL PROCESO Y DE LOS PRODUCTOS	
Sustancia	Carbono (tonelada de carbono por tonelada de sustancia de alimentación o de producto)
Propileno	0,8563
Monómero de cloruro de vinilo	0,384
Nota: El contenido de carbono del gas natural y de la nafta varía según el país y la región. Los valores calóricos netos (VCN) para el gas natural, la nafta y otros combustibles primarios que puedan utilizarse como sustancias de alimentación a procesos petroquímicos se incluyen en el Cuadro 1.2 en el Capítulo 1 del Volumen 2: Energía. Los contenidos en carbono para las sustancias de alimentación a proceso se incluyen en el Cuadro 1.3 del Capítulo 1, Volumen 2: Energía.	

METANO

El árbol de decisión para la elección del método para las emisiones de CH₄ se muestra en la Figura 3.9. Los métodos de Nivel 1, 2 y 3 para el CH₄ se describen en esta sección. No existe un método de Nivel 2 aplicable a las emisiones de CH₄.

Método de Nivel 1 para el factor de emisión basado en el producto

Las emisiones de CH₄ de los procesos petroquímicos pueden corresponder a emisiones fugitivas y/o a emisiones provenientes de los venteos del proceso. Las emisiones fugitivas se emiten en las bridas, válvulas y otros equipos del proceso. Las emisiones provenientes de fuentes de venteo de proceso incluyen la combustión incompleta de los gases de desecho en la antorcha y los sistemas de recuperación de energía. En el método de Nivel 1, las emisiones de CH₄ pueden calcularse mediante la Ecuación 3.23 para emisiones fugitivas de CH₄, la Ecuación 3.24 para emisiones de venteo de proceso y la Ecuación 3.25 para las emisiones totales de CH₄. En los casos en que no se disponga de datos sobre la producción anual de producto primario, pero sí de datos sobre el consumo de sustancias de alimentación al proceso petroquímico, para estimar la producción anual de productos primarios se utilizará la Ecuación 3.16 y esta estimación será aplicada luego en las Ecuaciones 3.23 y 3.24 para estimar las emisiones.

ECUACIÓN 3.23 CÁLCULO DE NIVEL 1 PARA LA EMISIÓN FUGITIVA DE CH₄

$$ECH4_{fugitivas,i} = PP_i \cdot EFf_i$$

ECUACIÓN 3.24 CÁLCULO DE NIVEL 1 PARA LA EMISIÓN DE CH₄ DEL VENTEO DE PROCESO

$$ECH4_{venteos\ de\ proceso,i} = PP_i \cdot EFP_i$$

ECUACIÓN 3.25 CÁLCULO DE NIVEL 1 PARA EL TOTAL DE EMISIONES DE CH₄

$$ECH4_{total,i} = ECH4_{fugitivas,i} + ECH4_{venteos\ de\ proceso,i}$$

Donde:

$ECH4_{total,i}$ = emisiones totales de CH₄ de la producción del producto petroquímico i , kg.

$ECH4_{fugitivas,i}$ = emisiones fugitivas de CH₄ de la producción del producto petroquímico i , kg.

$ECH4_{venteos\ de\ proceso,i}$ = emisiones de CH₄ del venteo de proceso de la producción del producto petroquímico i , kg.

PP_i = producción anual de producto petroquímico i , toneladas

EFf_i = factor de emisión de CH₄ fugitivo para el producto petroquímico i , kg. de CH₄/tonelada de producto

EFP_i = factor de emisión de CH₄ de los venteos de proceso para el producto petroquímico i , kg. de CH₄/tonelada de producto

Método del balance de carbono de Nivel 2 para el total de alimentación al proceso

El método de equilibrio de masas de carbono para el total de sustancias de alimentación al proceso no es aplicable a la estimación de las emisiones de CH₄. El método del balance de la masa total de carbono permite estimar las emisiones totales de carbono de los procesos pero no proporciona directamente una estimación de la cantidad del total de las emisiones de carbono que son emitidas como CO₂, CH₄, CO o COVDM.

Estimación directa de las emisiones específicas de planta de Nivel 3

El método de Nivel 3 se basa en mediciones continuas o periódicas específicas de plantas. Las emisiones provenientes del proceso de producción petroquímico incluyen el CH₄ emitido por los combustibles o los productos derivados de los procesos al quemarse para proveer calor o energía térmica al proceso de producción, el CH₄ emitido por los venteos en los procesos y el CH₄ emitido por la quema de gases de desecho en antorcha. Si el metano se ventea directamente hacia la atmósfera, éste dominará entre las emisiones. Las emisiones de CH₄ de los venteos de procesos pueden también quemarse en la antorcha o en dispositivos de recuperación de energía. Las mediciones de la concentración atmosférica de compuestos orgánicos volátiles (COV) directamente por encima de las plantas o en la columna de venteo constituyen los datos de la actividad preferidos para estimar las emisiones fugitivas de CH₄; sin embargo, tales datos pueden no estar disponibles. Las mediciones atmosféricas son generalmente caras y con frecuencia no son continuas sino, más bien un programa discreto y periódico destinado obtener datos que servirán de base para el desarrollo de factores de emisión específicos de las plantas. Los resultados de tales programas de medición serán luego puestos en relación con otros parámetros de los procesos de la planta para permitir la estimación de emisiones en los períodos entre las mediciones.

Para obtener datos de la actividad específicos de las plantas y desarrollar las estimaciones de emisiones de CH₄ de Nivel 3, se puede implementar también un programa completo de detección de fugas mediante la medición directa de las concentraciones de COV y CH₄ en las corrientes de gases de escape de la planta y la medición directa de las emisiones fugitivas de COV y CH₄ desde las válvulas, conexiones y otros equipos relacionados. Sin embargo, el programa de detección de fugas específico de plantas debe proporcionar datos sobre las emisiones fugitivas de CH₄ para todos los equipos pertinentes que emiten CH₄ en las plantas. Por igual, para aportar una base a los cálculos de emisiones de Nivel 3, los datos sobre las mediciones específicos de la planta para las chimeneas y respiraderos de venteo deben cubrir las fuentes de emisiones de CH₄ de la mayoría de las chimeneas y los respiraderos de la planta.

Las emisiones de CH₄ desde las chimeneas y respiraderos de procesos pueden estimarse a través de mediciones directas de la concentración de CH₄ en los gases de escape, o bien, pueden estimarse como componente de la concentración total de COV medida en el gas de escape. Las emisiones fugitivas de CH₄ desde los equipos de la planta (p. ej., válvulas, conexiones) pueden estimarse mediante la aplicación de datos de detección de fugas específicos y de los inventarios de equipos de la planta, siempre y cuando el programa de detección de fugas específico de la planta y el inventario de equipos sean cabales, de modo que el programa proporcione datos sobre las emisiones fugitivas de CH₄ para todos los equipos pertinentes que emiten CH₄ en la planta. Análogamente, para aportar una base a los cálculos de emisiones de Nivel 3, los datos sobre las mediciones específicos de la planta para las chimeneas y respiraderos de venteo deben cubrir las fuentes de emisiones de CH₄ de la mayoría de las chimeneas y los respiraderos de la planta.

La medición de las emisiones fugitivas pueden basarse también en la concentración de CH₄ en la atmósfera directamente por encima de la planta o en una columna de venteo en la dirección del viento. En general, este tipo de datos de mediciones atmosféricas miden las emisiones provenientes de toda la planta y no permiten discriminar las diferentes fuentes. Además de la concentración de CH₄, deben medirse el área de la columna de venteo y la velocidad del viento. Las emisiones están dadas por la Ecuación 3.26.

ECUACIÓN 3.26
CÁLCULO DE NIVEL 3 DE LAS EMISIONES DE CH₄
BASADO EN DATOS DE MEDICIONES ATMOSFÉRICAS

$$CH_4_{emisiones} = \int_t \left[(C_{total\ de\ COV} \cdot CH_4\ fracción - CH_4\ nivel\ de\ entorno) \cdot WS \cdot PA \right]$$

Donde:

CH₄ emisiones = total de emisiones de CH₄ de la planta, µg/s

C_{total de COV} = concentración de COV en la planta, µg/m³

CH₄ fracción = fracción de la concentración total de COV que es CH₄, fracción

CH₄ nivel de entorno = concentración ambiente de CH₄ en la zona de entorno, µg/m³

WS = velocidad del viento en la planta, m/s

PA = área de la columna de venteo, m²

Nota: \int_t significa que la cantidad debe sumarse a lo largo del tiempo.

Nótese que la metodología de Nivel 3 no obliga a los compiladores del inventario a realizar mediciones atmosféricas u otros tipos específicos de mediciones directas para estimar las emisiones de CH₄ específicas de las instalaciones. Se prevé que los datos específicos de la planta de detección de fugas y los de las emisiones provenientes de las chimeneas y respiraderos de venteo estarán disponibles más fácilmente que los datos de la medición atmosférica. Sin embargo, si se dispone de datos de mediciones atmosféricas, se los puede utilizar para desarrollar estimaciones de Nivel 3 para las emisiones de CH₄ o para verificar otras estimaciones. Los datos de mediciones atmosféricas pueden aportar estimaciones más exactas de las emisiones de CH₄ de los procesos que los datos de detección de fugas y de emisiones provenientes de chimeneas y respiraderos. Para estimar las emisiones de CH₄, la planta debe utilizar ya sea, i) Ecuación 3.26, o bien ii) Ecuaciones 3.27, 3.28 y 3.29. Se supone que las emisiones provenientes de venteos de procesos son monitoreadas de manera discreta o continua. El método de cálculo varía según el tipo de datos y, por lo tanto, no se presenta una ecuación aparte para el cálculo de las emisiones provenientes del venteo del proceso.

Las emisiones globales de CH₄ de los procesos de producción sustancias petroquímicas basadas en datos de detección de fugas específicos de la planta y de emisiones en chimeneas y respiraderos de venteo se calculan mediante la Ecuación 3.27

ECUACIÓN 3.27
ECUACIÓN DE NIVEL 3 PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE CH₄

$$ECH4_i = E_{\text{combustión},i} + E_{\text{venteo de proceso},i} + E_{\text{quema en antorcha},i}$$

Donde:

$ECH4_i$ = emisiones totales de CH₄ de la producción del producto petroquímico i , kg.

$E_{\text{combustión},i}$ = CO₂ emitido por el combustible o los productos derivados del proceso quemados para proveer calor o energía térmica al proceso de producción del producto petroquímico i , toneladas

$E_{\text{venteo de proceso},i}$ = emisiones de CH₄ del venteo de proceso durante la producción del producto petroquímico i , kg.

$E_{\text{quema en antorcha},i}$ = emisiones de CH₄ por la quema en antorcha de los gases de desecho durante la producción del producto petroquímico i , kg.

$E_{\text{combustión}}$ y $E_{\text{quema en antorcha}}$ están dados por las Ecuaciones 3.28 y 3.29, para las cuales deben utilizarse datos específicos de la planta o valores calóricos netos nacionales.

ECUACIÓN 3.28
CÁLCULO DE NIVEL 3 PARA LAS EMISIONES DE CH₄ DE LA QUEMA DE COMBUSTIBLE

$$E_{\text{combustión},i} = \sum_k (FA_{i,k} \cdot VCN_k \cdot EF_k)$$

Donde:

$FA_{i,k}$ = cantidad de combustible k consumido para producir el producto petroquímico i , toneladas

VCN_k = valor calórico neto del combustible k , TJ/tonelada

(Nota: En el Cuadro 1.2 en el Capítulo 1 del Volumen 2, los valores calóricos netos están expresados en TJ/kg.)

EF_k = factor de emisión de CH₄ del combustible k , kg./TJ

ECUACIÓN 3.29
CÁLCULO DE NIVEL 3 PARA LAS EMISIONES DE CH₄ DE LA QUEMA EN ANTORCHA

$$E_{\text{quema en antorcha},i} = \sum_k (FG_{i,k} \cdot VCN_k \cdot EF_k)$$

Donde:

$FG_{i,k}$ = cantidad de gas k quemado en antorcha durante la producción del producto petroquímico i , toneladas

VCN_k = valor calórico neto del gas quemado en antorcha k , TJ/tonelada

(Nota: En el Cuadro 1.2 del Capítulo 1 del Volumen 2, los valores calóricos netos están expresados en TJ/kg.)

EF_k = factor de emisión de CH_4 del gas quemado en antorcha k , kg./TJ

3.9.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

En esta sección se incluye un análisis sobre la elección de los factores de emisión para el método de Nivel 1. El método de Nivel 2 se basa en principios de equilibrio de masas y el método de Nivel 3, en datos específicos de plantas; por lo tanto no hay factores de emisión por defecto aplicables a los métodos de Nivel 2 y 3.

CUADRO 3.11 SUSTANCIAS DE ALIMENTACIÓN Y PROCESOS POR DEFECTO DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN PETROQUÍMICA		
Proceso petroquímico	Sustancia de alimentación por defecto	Proceso por defecto
Metanol	Gas natural	Reformado al vapor convencional sin unidad de reformado primaria
Etileno	Norteamérica, Sudáfrica, Australia - Etano Otros continentes - Nafta	Escisión al vapor Escisión al vapor
Dicloruro de etileno / monómero de cloruro de vinilo	Etileno	Proceso equilibrado para la producción de EDC con planta de producción de VCM integrada
Óxido de etileno	Etileno	Oxidación catalítica, proceso por aire, con tratamiento térmico
Acilonitrilo	Propileno	Amoxidación directa con quema de productos secundarios para recuperación de energía o en la antorcha
Negro de humo	Sustancia de alimentación para negro de humo y gas natural	Proceso del negro de horno con tratamiento térmico

NIVEL 1

Más abajo se presentan los factores de emisión de Nivel 1 para las emisiones de CO_2 y CH_4 correspondientes a los productos petroquímicos. Los factores de emisión de Nivel 1 para las emisiones de CO_2 no incluyen el carbono emitido como CO , CH_4 ni CO_2 . Se proveen factores de emisión de Nivel 1 aparte para las emisiones de CH_4 procedentes de los procesos petroquímicos. No se proveen factores de emisión de Nivel 1 para las emisiones de monóxido de carbono ni para los CO_2 .

El método de Nivel 1 permite seleccionar una sustancia de alimentación al proceso «por defecto» y un proceso «por defecto» en los casos en los que no se disponga de datos de la actividad para identificar la alimentación o el proceso utilizados para producir el producto petroquímico. En el Cuadro 3.11 se presentan las sustancias de alimentación por defecto y los procesos por defecto para cada proceso de producción de productos petroquímicos. Si no se dispone de datos de la actividad relativos a las alimentaciones y procesos específicos utilizados en un país para producir una sustancia petroquímica, para estimar las emisiones de CO_2 del proceso de producción petroquímica, se emplean la alimentación por defecto y el proceso por defecto identificados en el Cuadro 3.11, así como los factores de emisión de Nivel 1 asociados e identificados en los cuadros subsiguientes de esta sección. Los factores de emisión específicos del país pueden utilizarse en lugar de los factores de emisión por defecto, si están disponibles.

Metanol

Emisiones de dióxido de carbono

Las emisiones de CO_2 de la producción de metanol provenientes de los procesos de reformado al vapor o de la oxidación parcial pueden estimarse mediante la aplicación de los factores de emisión por defecto de la alimentación al proceso, o bien, de los factores de emisión específicos de la alimentación y de los procesos presentados en el Cuadro 3.12, a los datos de la actividad para la producción de metanol, la configuración del

proceso y la alimentación al proceso. Los factores de emisión por defecto se basan en el promedio de los datos sobre emisiones de CO₂ específicos de la planta declarados para cuatro plantas que usan el proceso de reformado al vapor convencional sin unidad de reformado primaria y que utilizan una alimentación de gas natural. Los datos sobre emisiones utilizados en el desarrollo del factor de emisión de CO₂ por defecto fueron declarados para plantas de metanol que usan el proceso convencional en Nueva Zelanda, Chile, Canadá y los Países Bajos. Los factores de emisión del cuadro incluyen tanto las emisiones de CO₂ que se generan desde la alimentación al proceso como las emisiones de CO₂ que se generan en la quema de las sustancias de alimentación dentro del proceso de reformado al vapor. En el Cuadro 3.13 se resume el consumo total de sustancias de alimentación, en unidades de GJ/tonelada de metanol producido, para las diversas configuraciones de los procesos de producción de metanol indicados en el Cuadro 3.12.

El proceso de reformado convencional puede incluir una sola o dos unidades de reformado de reformado, una primaria y otra secundaria. Los factores de emisión difieren según la cantidad de unidades de reformado. Lurgi es un proveedor de tecnología de producción de metanol y ha publicado los factores de emisión para varias tecnologías de procesos de reformado convencional; véase Cuadro 3.12. La capacidad de producción de las plantas de mega metanol es generalmente superior a las 5 000 toneladas diarias de metanol. Los factores de emisión para las tecnologías del proceso convencional de Lurgi deben aplicarse sólo si se conoce la tecnología específica del proceso. De lo contrario, debe aplicarse el factor de emisión para el reformado al vapor convencional sin unidad de reformado primaria, o el factor de emisión para el reformado convencional con unidad de reformado primaria.

El proceso de reformado al vapor convencional para la producción de metanol puede estar integrado con un proceso de producción de amoníaco. El factor de emisión para la producción integrada de metanol y amoníaco debería aplicarse sólo si se conoce la tecnología específica del proceso.

CUADRO 3.12						
FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ DE LA PRODUCCIÓN DE METANOL						
		Toneladas de CO₂/tonelada de metanol producido				
Configuración del proceso	Alimentación al proceso	Gas natural	Gas natural + CO₂	Petróleo	Carbón	Lignita
Reformado al vapor convencional, sin unida de reformado primaria (a) (Proceso por defecto y Alimentación en gas natural por defecto)		0,67				
Reformado al vapor convencional, con unidad de reformado primaria (b)		0,497				
Reformado al vapor convencional, proceso convencional de Lurgi (c1)		0,385	0,267			
Reformado al vapor convencional, proceso de baja presión de Lurgi (c2)		0,267				
Reformado al vapor combinado, proceso combinado de Lurgi (c3)		0,396				
Reformado al vapor convencional, proceso Mega Metanol de Lurgi (c4)		0,310				
Proceso de oxidación parcial (d)				1,376	5,285	5,020
Reformado al vapor convencional con producción integrada de amoníaco		1,02				
<p>Proceso de alimentación de Gas natural + CO₂ basado en 0,2-0,3 toneladas de CO₂ de alimentación por tonelada de metanol</p> <p>Los factores de emisión de este cuadro se han calculado a partir de los valores de consumo de sustancias de alimentación del Cuadro 3.13, basándose en los siguiente contenidos de carbono de la alimentación al proceso y en los valores de calentamiento:</p> <p>Gas natural: 56 kg. CO₂/GJ 48,0 GJ/tonelada</p> <p>Petróleo: 74 kg. CO₂/GJ 42,7 GJ/tonelada</p> <p>Carbón: 93 kg. CO₂/GJ 27,3 GJ/tonelada</p> <p>Lignita: 111 kg. CO₂/GJ</p> <p>Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27</p>						
<p>Fuentes: (a) Strucker, A, and Blok, K, 1995; Methanex, 2003; (b) Hinderink, 1996; (c1 – c4) Lurgi, 2004a; Lurgi, 2004b; Lurgi, 2004c; (d) FgH-ISI, 1999</p>						

CUADRO 3.13 FACTORES DE CONSUMO DE SUSTANCIAS DE ALIMENTACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE METANOL						
Configuración del proceso	Alimentación al proceso	GJ entrada de alimentación /tonelada de metanol producido				
		Gas natural	Gas natural + CO ₂	Petróleo	Carbón	Lignita
Reformado al vapor convencional, sin unidad de reformado primaria (a) (Proceso por defecto y alimentación en gas natural por defecto)		36,5				
Reformado al vapor convencional, con unidad de reformado primaria (b)		33,4	29,3			
Reformado al vapor convencional, proceso convencional de Lurgi (c1)		31,4				
Reformado al vapor convencional, proceso de baja presión de Lurgi (c1)		29,3				
Reformado al vapor combinado, proceso combinado de Lurgi (c3)		31,6				
Reformado al vapor convencional, proceso Mega Metanol de Lurgi (c4)		30,1				
Proceso de oxidación parcial (d)				37,15	71,6	57,6
Proceso de alimentación de Gas natural + CO₂ basado en 0,2-0,3 toneladas de CO₂ de alimentación por tonelada de metanol						
Fuentes: (a) Straker, A, and Blok, K, 1995; Methanex, 2003: (b) Hinderink, 1996: (c1 – c4) Lurgi, 2004a; Lurgi, 2004b; Lurgi, 2004c: (d) FgH-ISI, 1999						
Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27						

Emisiones de metano

Methanex declaró emisiones de CH₄ para dos plantas canadienses de producción de metanol en su *1996 Climate Change Action Plan* (Plan de Acción sobre Cambio Climático de 1996) (Methanex, 1996). Methanex informó que las emisiones de CH₄ provenientes de la producción de metanol pueden generarse en las unidades de reformado, en las calderas monobloque, en las unidades de destilación del metanol y en las cisternas de almacenamiento del metanol crudo. Las emisiones de CH₄ desde las plantas daban cuenta aproximadamente de un 0,5 por ciento a un 1,0 por ciento del total de emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de estas plantas, pero fueron declaradas como emisiones variables, según el nivel de mantenimiento y de control operacional de los equipos de la planta. El factor de emisión promedio declarado para dos años de informes es de 2,3 kg. de emisiones de CH₄ por tonelada de metanol producido. Se declaró que las emisiones de CH₄ provenientes de una segunda planta de producción de metanol Methanex fueron de 0,15 kg. de CH₄ por tonelada de metanol producido. El mayor de estos de estos dos valores declarados, 2,3 kg. de CH₄ por tonelada de metanol producido, debe aplicarse como factor de emisión de CH₄ por defecto para la producción de metanol. Para la planta de metanol de Tjeldbergodden, Noruega, se han estimado emisiones de CH₄ tan bajas como 0,1 kg./tonelada (SFT, 2003a).

Etileno

Emisiones de dióxido de carbono

Las emisiones de CO₂ provenientes de la escisión al vapor para la producción de etileno pueden estimarse utilizando los factores de emisión específicos de las sustancias de alimentación al proceso, dadas en el Cuadro 3.14, y los datos de la actividad sobre la cantidad de etileno producido en los procesos de escisión al vapor. En el Cuadro 3.14 se proporcionan factores de emisión separados para las emisiones de CO₂ provenientes del consumo de sustancias de alimentación y del consumo de energía complementaria en el proceso de escisión al vapor. Sin embargo, las emisiones de CO₂ provenientes del consumo, tanto de sustancias de alimentación como de energía complementaria, deben declararse como emisiones provenientes de Procesos Industriales, según las convenciones de generación de informes discutidas más arriba. Los factores de emisión por defecto se derivan de los datos específicos de planta para los fraccionadores al vapor que operan en los países de Europa Occidental. Los factores de emisión pueden ajustarse mediante la aplicación de los factores de ajuste geográficos por defecto del Cuadro 3.15, con el fin de dar cuenta de las diferencias de eficiencia energética entre las unidades de escisión al vapor de los diferentes países y regiones. Nótese que, como se indica en el Cuadro 3.11, la alimentación por defecto para los fraccionadores al vapor que operan en América del Norte, América del Sur y Australia, es el etano, y que la alimentación por defecto para los fraccionadores al vapor que operan en otros continentes, es la nafta.

Estos factores de emisión por defecto no incluyen las emisiones de CO₂ de la quema en antorcha. Las emisiones provenientes de la quema en antorcha ascienden a un 7 por ciento del total de emisiones de una planta bien mantenida de Noruega. Se supone que los procesos de escisión al vapor que utilizan alimentaciones de nafta, propano y butano son energéticamente neutros y que no requieren combustibles complementarios; por ende, se

supone que no hay emisiones de CO₂ asociadas con el consumo de combustibles para estas sustancias de alimentación.

CUADRO 3.14						
FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE ETILENO POR ESCISIÓN AL VAPOR						
	Toneladas de CO₂/tonelada de etileno producido					
Sustancia de alimentación al proceso	Nafta	Gasóleo	Etano	Propano	Butano	Otro
Etileno (Uso total del proceso y de la alimentación energética)	1,73	2,29	0,95	1,04	1,07	1,73
- Uso de la alimentación al proceso	1,73	2,17	0,76	1,04	1,07	1,73
- Uso de combustible complementario (alimentación energética)	0	0,12	0,19	0	0	0

Fuente: Neelis, M., Patel, M., and de Feber, M., 2003, Cuadro 2.3, Página 26.
 Las alimentaciones por defecto para la producción de etileno están identificadas en el Cuadro 3.11. Los factores de emisión no incluyen el uso de combustible suplementario en la quema en antorcha.
 Se supone que las otras sustancias de alimentación presentan los mismos rendimientos de producto que la alimentación de nafta.
 Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27

Los factores de emisión del Cuadro 3.14 pueden emplearse si sólo se dispone de datos sobre la cantidad de etileno producido por el proceso de escisión al vapor. La escisión al vapor es un proceso multiproducto que genera etileno, propileno, butadieno, compuestos aromáticos y varios otros productos químicos de alto valor. En los factores de emisión del Cuadro 3.14, se supone una mezcla específica de productos que es inherente al proceso. La mezcla de productos por defecto para cada factor de emisión del Cuadro 3.14 se identifica en la matriz «alimentación-producto» para la escisión al vapor del etileno en la Sección 3.9.2.3. En la matriz «alimentación-producto» se identifican los valores por defecto para la producción de etileno, propileno y otros productos hidrocarburos del proceso de escisión al vapor, en unidades de kilogramos de cada producto producido por tonelada de sustancia de alimentación. Con el fin de desarrollar los factores de emisión para la escisión al vapor que se muestran en el Cuadro 3.14, el total de las emisiones de CO₂ del proceso se ha dividido solamente por la salida de etileno. En otros términos, se ha elegido el etileno como referencia para estimar el total de las emisiones de CO₂ del proceso de escisión al vapor considerado como un todo. La multiplicación de los factores de emisión del Cuadro 3.14 por la producción de etileno conduce, por lo tanto, al total de las emisiones de CO₂, que resultan, no sólo de la producción de etileno, sino también de la producción de propileno, butadieno, compuestos aromáticos y todos los demás productos químicos producidos por el proceso de escisión al vapor. Los factores de emisión por defecto del Cuadro 3.14 proporcionan el total de las emisiones de CO₂ del proceso de escisión al vapor y no sólo las emisiones de CO₂ asociadas con la producción de etileno en este proceso.

CUADRO 3.15		
FACTORES DE AJUSTE GEOGRÁFICO POR DEFECTO PARA LOS FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE ETILENO POR EL PROCESO DE ESCISIÓN AL VAPOR		
Región geográfica	Factor de ajuste	Notas
Europa Occidental	100%	Los valores del Cuadro 3.14 están basados en datos para fraccionadores al vapor de países de Europa Occidental
Europa Oriental	110%	Excepto Rusia
Japón y Corea	90%	
Asia, África, Rusia	130%	Incluida Asia, excepto Japón y Corea
Norteamérica, Sudamérica y Australia	110%	

Fuente: Los factores de ajuste se basan en datos proporcionados por el Sr. Roger Matthews, en comunicación personal al Sr. Martin Patel, mayo de 2002.
 Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27

Emisiones de metano

Los factores de emisión por defecto de CH₄ fugitivo proveniente de la escisión al vapor del etano y de la nafta para la producción de etileno se estiman a partir de los factores de emisión de COV y de datos sobre los perfiles de las especies de COV obtenidos de la guía *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook* (EEA, 2005). Las emisiones globales de compuestos orgánicos volátiles provenientes de la escisión al vapor se estiman en 5 kg./tonelada de etileno producido, según una publicación europea, donde se supone una alimentación de nafta, y

en 10 kg. de COV/tonelada de etileno producido, según una publicación en Estados Unidos, donde se supone una alimentación de etano. A partir de los factores de emisión del total de COV, se estima de los perfiles de las especies de COV, que las emisiones globales de CH₄ de la escisión al vapor de la nafta son de 3 kg./tonelada de etileno producido. Estas emisiones provienen principalmente de pérdidas por fugas. Asimismo, se estima a partir de los perfiles de las especies de COV, que las emisiones globales de CH₄ de la escisión del etano son el doble que las de la escisión de la nafta (6 kg. de COV/tonelada de etileno producido). Sin embargo, estos factores están sujetos a incertidumbre pues los factores de emisión de COV globales de 5 kg. de COV/ tonelada de etileno para la alimentación de nafta y de 10 kg. de COV/ tonelada de etileno producido para la alimentación de etano, están basados en una sola publicación. Se supone que las emisiones de CH₄ provenientes de la escisión al vapor de las sustancias de alimentación que no son ni etano ni nafta, son las mismas que las que se estiman de los datos EMEP/CORINAIR para la escisión al vapor de la nafta.

Los datos publicados muestran una gran variabilidad en los factores de emisión de CH₄ declarados para la producción de etileno. En la publicación de la Asociación europea de fabricantes de plásticos (APME), *Eco-Profiles* de la Industria Europea de Plásticos, se declara un factor de emisión de CH₄ para la producción de etileno de 2,9 kg. de CH₄/tonelada de etileno producido, según una referencia citada en *APME Eco-Profiles for Olefins Production* (Boustead, 2003a). El factor de emisión de CH₄ para las operaciones del proceso de escisión al vapor del etileno está basado en datos de análisis de la vida útil de 15 fraccionadores al vapor europeos. Emisiones tan bajas como 0,14 kg. de CH₄/tonelada de etileno han sido estimadas sobre la base de mediciones directas en una planta noruega de etileno (SFT 2003b) y tan bajas como 0,03 kg. de CH₄/tonelada de etileno, sobre la base de datos de empresa declarados en *Australian Methodology for the Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks, 2003* (AGO, 2005). Otros operadores de la escisión al vapor europeos y australianos han declarado emisiones de CH₄ específicas de planta del orden de un 10 por ciento de los valores declarados en el Cuadro 3.16 (DSM, 2002; Qenos, 2003; Qenos, 2005). Por estas razones, no deben utilizarse los factores de emisión del Cuadro 3.16 para estimar las emisiones de CH₄ provenientes de las plantas de etileno de escisión al vapor, si para ellas se dispone de datos específicos de planta. En ese caso, deben usarse los datos específicos de planta y el método de Nivel 3. En el Cuadro 3.16 se muestran factores de emisión de CH₄ por defecto para varias alimentaciones a procesos. Nótese que las alimentaciones por defecto para la producción de etileno están identificadas en el Cuadro 3.11.

CUADRO 3.16	
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO DE METANO PARA LA PRODUCCIÓN DE ETILENO	
Sustancia de alimentación al proceso	kg. de CH₄/tonelada de etileno producido
Etano	6
Nafta	3
Todas las demás sustancias de alimentación	3
Fuente: EEA, 2005 (<i>EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook</i>)	
Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27	

Dicloruro de etileno y monómero de cloruro de vinilo

Emisiones de dióxido de carbono

En el Cuadro 3.17 se proporcionan factores de emisión para los procesos de producción de dicloruro de etileno y de monómero de cloruro de vinilo, incluidos el proceso de cloración directa, el proceso de oxiclорación y el proceso equilibrado. Los factores de emisión de CO₂ se derivan promediando los datos sobre emisiones de CO₂ específicos de planta para las plantas europeas citadas en el documento de referencia de la Oficina europea de Prevención y control integrado de la contaminación (IPCC), sobre las Mejores técnicas disponibles para la Industria química orgánica de gran volumen (*Large Volume Organic Chemical Industry Best Available Techniques*) (Oficina europea del IPCC, febrero 2003; denominado en esta sección como Documento IPCC LVOC BAT) Nótese que como se indica en el Cuadro 3.11, el proceso por defecto es el proceso equilibrado para la producción de EDC (del inglés, *Ethylene Di-Chloride*) con una planta integrada de producción de VCM (del inglés, *Vinyl Chloride Monomer*). El factor de emisión total de CO₂ para cada proceso incluye las emisiones de CO₂ que no provienen de la combustión en el venteo de gases del proceso de dicloruro de etileno y las emisiones que provienen de la combustión de CO₂ en las fuentes de combustión de la planta dicloruro de etileno. Los factores de emisión de las fuentes de combustión de la planta incluyen a la vez los gases de desecho del proceso y los combustibles auxiliares en el incinerador térmico de los gases de desecho del proceso. El factor de emisión

relacionado con la combustión no incluye las emisiones provenientes de la quema en antorcha. Los factores de emisión relacionados con la combustión del Cuadro 3.17 están basados en datos tomados de las plantas que emplean el proceso de oxiclорación, pero se supone que estos factores de emisión son válidos también para las plantas que emplean el proceso de clорación directa y el proceso equilibrado. En el Cuadro 3.18 se presentan factores de consumo para los procesos de producción del dicloruro de etileno y del monómero de clорuro de vinilo. En el documento *PlasticsEurope EcoProfiles* (Boustead, 2005), para la producción de EDC se indica una utilización de etileno de 0,306 toneladas por tonelada de EDC producido basado en ocho plantas europeas.

Debe notarse que los factores de emisión de CO₂ del Cuadro 3.17, expresados en unidades de toneladas de CO₂ por tonelada de EDC producido y en unidades de toneladas de CO₂ por tonelada VCM producido, no son aditivos. Ambos factores de emisión de CO₂ son aplicables al proceso de producción integrado de EDC/VCM, sin embargo las toneladas de CO₂ por tonelada de factor de EDC producido están basadas en datos de la actividad sobre la producción de EDC mientras que las toneladas de CO₂ por tonelada de VCM producido están basadas en datos de la actividad sobre la producción de VCM. El factor de emisión de CO₂ que deberá aplicarse dependerá de cuáles datos se dispone, ya sea de la producción de EDC o de la producción de VCM. Del mismo modo, los factores de consumo de sustancias de alimentación del Cuadro 3.18, expresados en unidades de toneladas de etileno consumido por tonelada de EDC producido y en unidades de toneladas de etileno consumido por tonelada VCM producido, no son aditivos. El factor de consumo de sustancias de alimentación que deberá aplicarse depende de cuáles datos se dispone, ya sea de la producción de EDC o de la producción de VCM.

CUADRO 3.17		
FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ DE NIVEL 1		
PARA LA PRODUCCIÓN DE DICLORURO DE ETILENO Y/O CLORURO DE VINILO		
Configuración del proceso	Toneladas de CO₂/tonelada de EDC producido	Toneladas de CO₂/tonelada de VCM producido
Proceso de clорación directa		
Venteos de proceso que no provienen de la combustión	emisiones insignificantes	emisiones insignificantes
Emisiones de la combustión	0,191	0,286
Factor de emisión total de CO ₂	0,191	0,286
Proceso de oxiclорación		
Venteos de proceso que no provienen de la combustión	0,0113	0,0166
Emisiones de la combustión	0,191	0,286
Factor de emisión total de CO ₂	0,202	0,302
Proceso equilibrado [por defecto]		
Venteos de proceso que no provienen de la combustión	0,0057	0,0083
Emisiones de la combustión	0,191	0,286
Factor de emisión total de CO ₂	0,196	0,294
Los valores para las emisiones de CO ₂ de la producción de EDC y VCM para varias plantas europeas se han proporcionado en el Documento IPPC LVOC BAT (Oficina europea de IPCC, 2003), <i>Cuadro 12.6 y Cuadro 12.7</i> . Estos valores se promediaron para calcular los factores de emisión de CO ₂ para la producción de EDC y VCM. Una planta de EDC que está equipada de un dispositivo de control del CO ₂ y que declaró cero emisiones de CO ₂ del proceso, no se incluyó en el cálculo del factor de emisión promedio.		
Fuente: Oficina europea del IPCC, 2003 (Documento IPPC LVOC BAT, datos en <i>Cuadro 12.6 y Cuadro 12.7</i>).		
Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27		

CUADRO 3.18		
FACTORES DE CONSUMO DE SUSTANCIAS DE ALIMENTACIÓN DE NIVEL 1		
PARA EL PROCESO DEL DICLORURO DE ETILENO Y/O MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO		
Configuración del proceso	Toneladas de etileno/tonelada de EDC producido	Toneladas de etileno/tonelada de VCM producido
Proceso de cloración directa	0,290	--
Proceso de oxiclорación	0,302	--
Proceso equilibrado	0,296	0,47
Fuente: Oficina europea del IPCC, 2003 (Documento IPPC LVOC BAT, Sección 12.3.1, Páginas 299-300, Sección 12.1 <i>Cuadro 12.3</i> , Página 293).		
Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27		

Emisiones de metano

El «perfil de especie» (*species profile*) de EMEP/CORINAIR para el proceso equilibrado del dicloruro de etileno y/o monómero de cloruro de vinilo indica que no hay otras emisiones de CH₄ del proceso que las emisiones de CH₄ de las fuentes de combustión. En el perfil de especie de EMEP/CORINAIR se informa que las emisiones de COV provenientes de pérdidas por fugas, almacenamiento y manipulación, no contienen CH₄. El EMEP/CORINAIR informa también que 2 por ciento del total de emisiones de COV provenientes del proceso equilibrado, corresponden a fuentes de combustión y que el CH₄ constituye el 1,2 por ciento de las emisiones totales de COV. Por lo tanto, se puede suponer que las emisiones de CH₄ que no provienen de la combustión de dicloruro de etileno y/o monómero de cloruro de vinilo, son insignificantes.

Las emisiones de CH₄ provenientes de la combustión de gas natural como combustible complementario en el proceso de producción del dicloruro de etileno y/o monómero de cloruro de vinilo, pueden estimarse de los datos de la actividad para el consumo de combustible complementarios de gas natural y del factor de emisión de CH₄ para la combustión de gas natural. El consumo de gas natural para la producción integrada de dicloruro de etileno y monómero de cloruro de vinilo se estimó en 110,1 Nm³ de gas natural/tonelada de VCM producido, para una planta de producción integrada de dicloruro de etileno y monómero de cloruro de vinilo de los Países Bajos, y en 126,4 Nm³ de gas natural/tonelada de VCM producido para una planta similar de Alemania. El promedio de estos dos valores es 118,3 Nm³ de gas natural/tonelada de VCM. El factor de emisión de CH₄ para el proceso de producción integrada de EDC/VCM está basado en un factor de emisión de CH₄ de 5 g de CH₄/GJ de gas natural quemado y en el consumo promedio de gas natural de las dos plantas europeas. El factor de emisión de CH₄ por defecto para el proceso de producción del dicloruro de etileno y/o monómero de cloruro de vinilo se incluye en el Cuadro 3.19. El factor de emisión por defecto no es aplicable a las plantas autónomas de producción de EDC. Si se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de gas natural, el factor de emisión de CH₄ de 5 g de CH₄/GJ puede aplicarse directamente a los datos de la actividad, en vez de usarse el factor de emisión por defecto.

CUADRO 3.19	
FACTOR DE EMISIÓN DE CH₄ POR DEFECTO DE NIVEL 1	
PARA EL PROCESO DEL DICLORURO DE ETILENO Y/O CLORURO DE VINILO	
Configuración del proceso	kg. de CH₄/tonelada de producto VCM producido
Planta de producción integrada de EDC/VCM	0,0226
Fuentes: Oficina europea del IPCC, 2003 (Documento IPPC LVOC BAT, sección 12.3.1, Cuadro 12.4, Pág. 300); EEA, 2005 (<i>EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, Processes in Organic Chemical Industries (Bulk Production) 1, 2-Dichloroethane and Vinyl Chloride (Balanced Process)</i> , Activity 040505, 15 de febrero de 1996, sección 3.4, Págs. B455-3 y Cuadro 9.2, B455-5).	

Óxido de etileno

Emisiones de dióxido de carbono

Las emisiones de CO₂ a partir de la producción de óxido de etileno pueden estimarse mediante los factores de emisión basados en datos de la actividad sobre la producción de óxido de etileno y en datos de la actividad para la configuración y la selectividad del catalizador del proceso. En el Cuadro 3.20, se presentan los factores de emisión de CO₂ para las emisiones de CO₂ del proceso por aire y para las emisiones de CO₂ del proceso por oxígeno, para un espectro de selectividades del catalizador. Los factores de emisión por defecto para el proceso por aire y para el proceso por oxígeno se han estimado a partir de datos sobre la selectividad del catalizador específico del proceso proporcionados en el documento IPPC LVOC BAT. Para seleccionar los factores de emisión del Cuadro 3.20, se requieren datos específicos sobre el tipo de proceso y sobre la selectividad del catalizador del proceso. Los factores de emisión se derivan de la selectividad del catalizador empleando principios estequiométricos y están basados en la hipótesis que las emisiones de CH₄ y CO₂ de los procesos son insignificantes y que todo el carbono contenido en el etileno de alimentación al proceso se convierte, ya sea en el producto óxido de etileno o en emisiones de CO₂. Los factores de emisión del Cuadro 3.20 no incluyen las emisiones provenientes de la quema en antorcha.

Como se muestra en el Cuadro 3.20, el factor de emisión por defecto para el proceso por aire está basado en una selectividad del catalizador del proceso de 70 por ciento y en el factor de emisión por defecto para el proceso por oxígeno está basado en una selectividad del catalizador del proceso de 75 por ciento. Si no se dispone de datos sobre la configuración o sobre la selectividad del catalizador del proceso, la configuración por defecto del proceso es la del proceso por aire y la selectividad por defecto del catalizador es de 70 por ciento. Si se dispone de datos de la actividad que permiten identificar el proceso utilizado como proceso por oxígeno, pero no se dispone de datos sobre la selectividad del catalizador en el proceso por oxígeno, entonces debe emplearse el factor de emisión para la selectividad del catalizador por defecto de 75 por ciento del Cuadro 3.20 para el proceso por oxígeno.

CUADRO 3.20			
CONSUMO DE SUSTANCIAS DE ALIMENTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO Y FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂			
Configuración del proceso	Selectividad del catalizador	Consumo de sustancia de alimentación (toneladas de etileno/tonelada de óxido de etileno)	Factor de emisión (toneladas de CO₂/tonelada de óxido de etileno)
Proceso por aire [proceso por defecto]	Por defecto (70)	0,90	0,863
	75	0,85	0,663
	80	0,80	0,5
Proceso por oxígeno	Por defecto (75)	0,85	0,663
	80	0,80	0,5
	85	0,75	0,35

Fuente: Oficina europea del IPCC, 2003 (Documento IPPC LVOC BAT, sección 9.2.1, Pág. 224, sección 9.3.1.1, Pág. 231, figura 9.6)

Emisiones de metano

El documento IPPC LVOC BAT, para la producción de óxido de etileno declara factores de emisión de CH₄ (en unidades de kilogramos de metano por tonelada de óxido de etileno producido) para el venteo del proceso de óxido de etileno, de los gases y vapor de escape del proceso de purificación del óxido de etileno y de las fuentes de emisiones fugitivas. Para los venteos de eliminación de dióxido de carbono en la plantas europeas de dióxido de etileno, los factores de emisión de CH₄ del documento IPPC LVOC BAT se declararon antes y después del tratamiento. También se declararon las emisiones de CH₄ para dos plantas de óxido de etileno de los Países Bajos. Los factores de emisión de CH₄ para la producción de óxido de etileno fueron desarrollados promediando estos datos. Las emisiones de CH₄ pueden estimarse mediante la aplicación de los factores de emisión incluidos en el Cuadro 3.21 a los datos de la actividad para la producción de óxido de etileno. Para el factor de emisión de CH₄ por defecto de la producción de óxido de etileno, se supone que no se aplica un proceso de tratamiento térmico.

CUADRO 3.21	
FACTORES DE EMISIÓN DE CH₄ DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO	
Configuración del proceso	kg. de CH₄/tonelada de óxido de etileno producido
Sin tratamiento térmico [factor por defecto]	1,79
Con tratamiento térmico	0,79

Fuente: Oficina europea del IPCC, 2003 (Documento IPPC LVOC BAT, Cuadro 9.6, Pág. 233, Cuadro 9.8, Pág. 236, Cuadro 9.9, Pág. 236).

Acrilonitrilo

Emisiones de dióxido de carbono

Las emisiones de CO₂ provenientes de los venteos del proceso de producción de acrilonitrilo por amoxidación directa del propileno pueden calcularse a partir de los datos de la actividad sobre la producción de acrilonitrilo utilizando los factores de emisión proporcionados en el Cuadro 3.22:

CUADRO 3.22 FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ DE LA PRODUCCIÓN DE ACRILONITRILLO	
Configuración del proceso	Toneladas de CO₂/tonelada de acrilonitrilo producido
Amoxidación directa del propileno	
Productos secundarios quemados para recuperación de energía y/o quemados en la antorcha (por defecto)	1,00
Acetonitrilo quemado para recuperación de energía y/o quemado en antorcha	0,83
Acetonitrilo y cianuro de hidrógeno recuperado como producto	0,79
Fuente: Oficina europea del IPCC, 2003 (Documento IPPC LVOC BAT, sección 11.3.1.1, <i>Cuadro 11.2</i> , Pág. 274 y sección 11.3.1.2, Pág. 275).	

Los factores de emisión del Cuadro 3.22 están basados en un factor promedio (por defecto) del consumo de propileno de alimentación al proceso, de 1,09 toneladas de propileno de alimentación por tonelada de acrilonitrilo producido, lo cual corresponde a un factor de rendimiento del producto primario cercano al 70 por ciento. El factor de emisión de CO₂ por defecto está basado en la conversión del propileno de alimentación en acetonitrilo producto secundario a una relación de 18,5 kilogramos por tonelada de acrilonitrilo producido y en la conversión del propileno en producto secundario cianuro de hidrógeno una relación de 105 kilogramos por tonelada de acrilonitrilo producido; a la vez está basado en datos específicos del proceso sobre el rendimiento de acrilonitrilo y en datos específicos del proceso sobre el consumo de sustancias de alimentación, declarados en el documento IPPC LVOC BAT (Oficina europea de IPCC, 2003). Nótese, sin embargo, que el proceso de producción de acrilonitrilo puede configurarse y operarse de modo que produzca una mayor o una menor cantidad de productos secundarios. El factor de emisión de CO₂ por defecto está basado en la hipótesis de que los productos secundarios (acetonitrilo y cianuro de hidrógeno) del proceso de producción de acrilonitrilo y los productos hidrocarburos derivados presentes en la columna principal de absorción de gases de venteo son quemados, sea para recuperar energía o producir CO₂ en antorcha y no son recuperados como productos ni emitidos hacia la atmósfera sin tratamiento de combustión. Los factores de emisión de CO₂ no incluyen las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión de cualquier combustible auxiliar (p. ej., gas natural) utilizado para el proceso de recuperación de energía desde los gases de desecho o de los sistemas de quemado en antorcha.

Si no se dispone de datos de la actividad que permitan determinar si se recuperan los productos secundarios para la venta, se supone por defecto que los productos secundarios se queman para recuperar energía, o producen CO₂ en la antorcha y que el factor de rendimiento de producto primario por defecto es de 70 por ciento.

En el caso de las configuraciones de proceso en que los productos secundarios (acetonitrilo y cianuro de hidrógeno) son recuperados para la venta y no se queman con producción de CO₂ en la antorcha ni recuperación de energía, el factor de rendimiento global de productos primarios y secundarios es de 85 por ciento.

Si no se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de propileno de alimentación al proceso, el consumo de la alimentación de propileno puede estimarse de los datos de la actividad sobre la producción de acrilonitrilo, aplicando un factor de consumo de alimentación de 1,09 toneladas de propileno de alimentación consumido por tonelada de acrilonitrilo producido.

Emisiones de metano

En una publicación de la Asociación europea de fabricantes de plásticos (APME), *Life-Cycle Analysis Report* (Boustead, 1999), se proporciona una referencia al documento *Life-Cycle Analysis Data Summary for Acrylonitrile*, donde se declara de un factor de emisión de CH₄ para la producción de acrilonitrilo de 0,18 kg. de CH₄/tonelada de acrilonitrilo producido. El factor de emisión de CH₄ para las operaciones del proceso del acrilonitrilo está basado en datos de análisis de la vida útil para las plantas europeas de Alemania, Italia y el Reino Unido recopilados entre 1990 y 1996. Las emisiones de CH₄ provenientes de la producción de acrilonitrilo pueden estimarse aplicando este factor de emisión por defecto a los datos sobre producción de acrilonitrilo.

Negro de humo

Emisiones de dióxido de carbono

Las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de negro de humo pueden estimarse aplicando los factores de emisión específicos del proceso y de la alimentación al proceso a los datos de la actividad sobre la producción del negro de humo. En el Cuadro 3.23 se proporcionan factores de emisión separados para los procesos del negro de horno, del negro térmico y del negro de acetileno y para las sustancias de alimentación asociadas, así como factores de emisión separados para las sustancias de alimentación primaria y secundaria. Los factores de emisión

están basados en la hipótesis de que las emisiones provenientes del proceso están sujetas a un proceso de tratamiento térmico.

En el Cuadro 4.11 del borrador del documento de la Oficina europea de Prevención y control integrado de la contaminación (IPCC), Documento de referencia sobre las Mejores técnicas disponibles para la Industria química inorgánica de gran volumen (*Large Volume Inorganic Chemical Industry Best Available Techniques*) (Oficina europea del IPCC, junio 2005; denominado en este capítulo Documento borrador IPPC LVIC BAT), se incluye un intervalo de valores para la alimentación primaria y secundaria al proceso del negro de humo. Los factores de emisión de CO₂ del Cuadro 3.23 están basados en el promedio del intervalo de valores. El consumo de sustancias de alimentación primaria y secundaria se convierte en consumo de carbono empleando los valores promediados para el contenido de carbono de las sustancias de alimentación para el negro de humo. Los factores de emisión de CO₂ se calculan partiendo de las entradas de carbono al proceso (alimentación primaria y secundaria) y de la salida de carbono (negro de humo) del proceso utilizando un valor promedio para el contenido de carbono del negro de humo.

CUADRO 3.23			
FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE NEGRO DE HUMO			
Configuración del proceso	Toneladas de CO₂/tonelada de negro de humo producido		
	Alimentación primaria	Alimentación secundaria	Alimentación total
Proceso del negro de horno (proceso por defecto)	1,96	0,66	2,62
Proceso del negro térmico	4,59	0,66	5,25
Proceso del negro de acetileno	0,12	0,66	0,78

Fuente: Oficina europea del IPCC, 2005 (Documento borrador IPPC LVIC BAT, datos del Cuadro 4.11).

Emisiones de metano

En el Cuadro 3.24 se presentan las emisiones de CH₄ para el proceso de producción del negro de humo. En el Documento borrador IPPC LVIC BAT, para el negro de humo se declara sobre el contenido de CH₄ de los gases de cola que no se queman en el proceso de producción del negro de humo y sobre la tasa estimada de generación para el gas de cola en este proceso. Basándose en un volumen de 10 000 Nm³ de gas de cola por tonelada de negro de humo producido y en una concentración promedio de CH₄ declarada de 0,425 por ciento por volumen, el factor de emisión incontrolada de CH₄ es de 28,7 kg. de CH₄/tonelada de negro de humo producido. La eficiencia de combustión en la antorcha para los sistemas de quemado en antorcha del proceso del negro de humo ha sido declarada en el Documento borrador IPPC LVIC BAT como de un 99,8 por ciento para el monóxido de carbono y se supone que la misma eficiencia es válida para el CH₄. El factor de emisión de CH₄ para la producción de negro de humo después de aplicar el control de la combustión es de 0,06 kg. de CH₄/tonelada de negro de humo producido. Se declaró un factor de emisión de total de CH₄ 0,11 kg. de CH₄/tonelada de negro de humo, basado en datos de empresa, ha sido proporcionado en la *Australian Methodology for the Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks*, 2003 (AGO, 2005.) Tres plantas productoras de negro de humo de Alemania han declarado un factor de emisión de CH₄ común de 0,03 kg. de CH₄/tonelada de negro de humo producido, basándose en datos sobre mediciones efectuadas después de la combustión de los gases de desecho utilizando BAT (*Thermische Nachverbrennung als Stand der Technik.*)

CUADRO 3.24	
FACTORES DE EMISIÓN DE CH₄ DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE NEGRO DE HUMO	
Configuración del proceso	kilogramos de CH₄/tonelada de negro de humo producido (Gas de cola del proceso del negro de humo)
Sin tratamiento térmico	28,7
Con tratamiento térmico (proceso por defecto)	0,06

Fuente: Oficina europea del IPCC, 2005 (Documento borrador IPPC LVIC BAT, Cuadro 4,8, Pág. 209, Cuadro 4,10, Pág. 213, sección 4.3.2.3, Pág. 210).

NIVEL 2

La metodología de Nivel 2 se basa en cálculos sobre equilibrio de masas y por ello no existen factores de emisión asociados a esta metodología.

NIVEL 3

Para el método de Nivel 3, las emisiones específicas de planta pueden estimarse para el CO₂, utilizando las Ecuaciones 3.20 hasta 3.22, y para el CH₄, utilizando la Ecuación 3.26 o las Ecuaciones 3.27 hasta 3.29. Los factores de emisión pueden ponerse en relación con la producción anual para estimar las emisiones en los períodos entre mediciones, si éstas no son continuas.

3.9.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

En el Capítulo 2 del Volumen 1 se discuten los aspectos generales de la recopilación de datos para obtener datos de la actividad. Cuando se use el método de Nivel 3, los datos específicos de la planta deben obtenerse a través de las plantas productoras. Las mediciones directas del flujo total hacia el fraccionador al vapor y el sistema de quema en antorcha junto con un análisis del contenido de carbono del gas proporcionan las bases más exactas para una estimación de las emisiones.

El balance de energía y/o el balance de carbono específicos de la planta pueden también utilizarse para derivar los factores de emisión específicos de la planta. La variedad de flujos de energía y de carbono a través de las fronteras de la planta hace que este método sea intensivo respecto de los datos, pero mucho menos intensivo en cuanto a recursos. Dado que los datos sobre el consumo de sustancias de alimentación pueden ser difíciles de obtener, los datos sobre ventas y las estadísticas nacionales pueden proporcionar los volúmenes aproximados de producción para los productos químicos.

METANOL

Las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de metanol pueden calcularse del consumo de sustancias de alimentación específicas (p. ej., gas natural) y de los datos de la actividad sobre producción del producto (metanol), así como mediante cálculos de balance de masas para el carbono.

ETILENO

Las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de etileno pueden calcularse del consumo de sustancias de alimentación específicas y de los datos de la actividad sobre la producción de etileno, así como mediante cálculos de balance de masas para el carbono. Con el fin de efectuar un balance de masas completo para el proceso de producción del etileno e implementar la metodología de Nivel 2 para la producción de etileno, todas las sustancias de alimentación y la producción y disposición de todos los productos, primarios y secundarios, del proceso deben identificarse mediante datos de la actividad. En los casos en que se disponga de datos sobre la producción de etileno, pero no se disponga de datos sobre la producción de productos secundarios del proceso de escisión al vapor, la producción de éstos puede estimarse utilizando los factores por defecto del Cuadro 3.25 y la Ecuación 3.18. Sin embargo, el uso de estos factores por defecto es un método menos exacto que el del uso de datos de la actividad específicos para todos los productos primarios y secundarios, y esto aumenta la incertidumbre de las estimaciones pues el rendimiento de los fraccionadores al vapor puede variar según las condiciones específicas de las instalaciones. Por ejemplo, los datos específicos de la instalación declarados para los fraccionadores al vapor que operan en Alemania, indican que las pérdidas de hidrocarburos bajo condiciones normales de funcionamiento son del orden de 8,5 kg. por tonelada de hidrocarburo de alimentación (BASF, 2006), mientras que el valor por defecto para las pérdidas de hidrocarburos que se muestra en el Cuadro 3.25, es de 5 kg. por tonelada de hidrocarburo de alimentación. Si no se dispone de datos de la actividad para todos los productos secundarios, puede aplicarse el método de Nivel 1 en vez del Nivel 2.

Los productos secundarios producidos por el proceso de escisión al vapor pueden recuperarse y transferirse hacia una planta petroquímica o una refinería de petróleo para la reutilización del material, para el reciclado dentro del proceso de escisión al vapor como sustancias de alimentación o para quemarlos y recuperar energía. Típicamente, los productos secundarios C₄⁺ se reciclan como alimentación a procesos o se recuperan para reutilización del material (BASF, 2006). La atribución de las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión de productos secundarios para recuperación de energía se describe en el Recuadro 1.1 del Capítulo 1 de este volumen. Si no se dispone de datos de la actividad sobre la disposición de los productos secundarios C₄⁺, se supone por defecto que los productos secundarios C₄⁺ son recuperados y transferidos hacia otro proceso para reutilización del material. Si no hay datos sobre la disposición del CH₄ producido por el proceso de escisión al vapor, se supone por defecto que el CH₄ se quema para recuperar energía dentro del proceso de escisión al vapor y genera emisiones de CO₂ como resultado del proceso.

Los fraccionadores al vapor que operan dentro de la industria petroquímica pueden obtener las sustancias petroquímicas de alimentación para el proceso de producción del etileno directamente de una refinería de petróleo adyacente. Según las condiciones de operación aplicables a las sustancias de alimentación y a los procesos, los fraccionadores al vapor pueden generar también «contraflujos» de productos hidrocarburos derivados que son devueltos a la refinería adyacente para procesamientos posteriores. Ninguna de las emisiones de CO₂ del procesamiento de los contraflujos en las refinerías de petróleo está incluida en los factores de emisión de CO₂ del proceso de producción de etileno en los fraccionadores al vapor, pero se consideran en el análisis de los flujos de sustancias de alimentación y de carbono para el proceso.

CUADRO 3.25							
MATRIZ ALIMENTACIÓN-PRODUCTO DE LA ESCISIÓN AL VAPOR DEL ETILENO							
Producto	Alimentación a procesos	kg. de producto/tonelada de sustancia de alimentación					
		Nafta	Gasóleo (diésel)	Etano	Propano	Butano	Otros
Productos químicos de alto valor		645	569	842	638	635	645
Etileno		324	250	803	465	441	324
Propileno		168	144	16	125	151	168
Butadieno		50	50	23	48	44	50
Aromáticos		104	124	0	0	0	104
Productos con grado de combustible y contraflujos		355	431	157	362	365	355
Hidrógeno		11	8	60	15	14	11
Metano		139	114	61	267	204	139
Etano y propano después de la escisión		0	0	0	0	0	0
Otros C4		62	40	6	12	33	62
C5/C6		40	21	26	63	108	40
C7+ no aromáticos		12	21	0	0	0	12
<430C		52	26	0	0	0	52
>430C		34	196	0	0	0	34
Pérdidas		5	5	5	5	5	5
Total		1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000

Fuente: Neelis, M; Patel, M; de Feber, M; *Copernicus Institute*, abril 2003, *Cuadro 2.2*, Pág. 24

DICLORURO DE ETILENO Y MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO

Las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de dicloruro de etileno y monómero de cloruro de vinilo pueden calcularse del consumo de sustancias de alimentación específicas (etileno) y de los datos de la actividad sobre producción del producto (dicloruro de etileno), así como mediante cálculos de balance de masas para el carbono.

ÓXIDO DE ETILENO

Las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de óxido de etileno pueden calcularse del consumo de sustancias de alimentación específicas (etileno) y de los datos de la actividad sobre producción del producto (óxido de etileno), así como mediante cálculos de balance de masas para el carbono.

ACRILONITRILO

Si no se dispone de datos de la actividad sobre la producción de productos secundarios (acetonitrilo y cianuro de hidrógeno), para estimar la producción de producto secundario pueden aplicarse los valores por defecto del Cuadro 3.26 y la Ecuación 3.19 a los datos de la actividad sobre producción de producto primario .

CUADRO 3.26	
FACTORES DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS SECUNDARIOS PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ACRILONITRILLO	
Producto secundario	kg. de producto secundario/ tonelada de acrilonitrilo producido
Acetonitrilo	18,5
Cianuro de hidrógeno	105
<p>Nota: Los factores de producción de productos secundarios de este cuadro se basan en la producción de acrilonitrilo a partir de la alimentación al proceso en propileno. En el caso en que se utilicen otras sustancias en vez de propileno para alimentar el proceso, los factores de este cuadro no serían aplicables. Para aplicar el método del equilibrio de masas de Nivel 2 a la producción de acrilonitrilo a partir de sustancias de alimentación distintas del propileno deben desarrollarse factores específicos del proceso en cuestión.</p> <p>Fuente: Oficina europea del IPCC, 2005 (Documento IPPC LVOC BAT, sección 11.3.4, Pág. 27).</p>	

Si no se dispone de datos de la actividad relacionados con la recuperación del producto acetonitrilo, se puede suponer que no se recupera y que se quema para recuperación de energía con resultado de CO₂. Si no se dispone de datos de la actividad relacionados con el tratamiento térmico en la columna principal de absorción de gases de venteo, se puede suponer que el gas de venteo se trata térmicamente y produce CO₂ por la quema y que no es venteado de manera incontrolada hacia la atmósfera.

NEGRO DE HUMO

Las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de negro de humo pueden calcularse del consumo de sustancias de alimentación específicas a los procesos (p. ej., alimentación para negro de humo) y de los datos de la actividad sobre producción del producto (negro de humo), así como mediante cálculos de balance de masas para el carbono.

3.9.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Al estimar las emisiones de CO₂ provenientes de los procesos petroquímicos y del negro de humo existe un riesgo de cómputo doble o de omisión tanto en el Sector IPPU como en el Sector Energía. Las plantas petroquímicas y de negro de humo producen metano y productos hidrocarburos derivados no metano que pueden quemarse para recuperar energía y esta recuperación de energía puede declararse en las estadísticas nacionales sobre energía bajo la categoría «otros» combustibles o alguna categoría similar. Si las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión de «otros» combustibles incluyen las descargas gaseosas de los procesos industriales que se queman para recuperar energía, para evitar el cómputo doble de las emisiones de CO₂ se necesitan efectuar algunos ajustes a las estadísticas sobre energía o a los cálculos de emisiones de CO₂ para la producción petroquímica.

METANOL

Puede haber producción de metanol a partir de fuentes biogénicas (renovables). Este metanol biogénico puede estar incorporado a las estadísticas nacionales sobre producción de metanol, lo cual resultará en una sobreestimación de las emisiones de CO₂ provenientes del metanol derivado de los combustibles fósiles (p. ej., gas natural), a menos que se hagan ajustes a los datos de la actividad sobre la producción de metanol.

ETILENO

Puede haber producción de etileno a partir de procesos de refinación del petróleo o de procesos petroquímicos que no proviene de los fraccionadores al vapor. Este etileno puede estar incorporado a las estadísticas nacionales sobre producción de etileno, lo cual resultará en una sobreestimación de las emisiones de CO₂ provenientes del etileno derivado de los fraccionadores al vapor, a menos que se hagan ajustes a los datos de la actividad sobre producción de etileno.

DICLORURO DE ETILENO Y MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO

El dicloruro de etileno es un producto petroquímico intermedio utilizado para fabricar monómero de cloruro de vinilo y otros productos. Los datos de la actividad sobre la producción de dicloruro de etileno pueden no estar completos porque el dicloruro de etileno puede haber sido convertido directamente en monómero de cloruro de vinilo en una planta integrada EDC/VCM. Por lo tanto, puede suceder que los datos de la actividad sobre la producción del monómero de cloruro de vinilo sean más completos respecto de la cobertura de la industria que los datos de la actividad sobre la producción de dicloruro de etileno. Sin embargo, la utilización de los datos de la actividad para el monómero de cloruro de vinilo como sustitutos de los datos para el dicloruro de etileno presenta problemas de exhaustividad pues no todo el dicloruro de etileno es utilizado para fabricar monómero de cloruro de vinilo. Por esto, para dar cuenta de la utilización del dicloruro de etileno en la fabricación de otros

productos, puede ser necesario ajustar los datos de la actividad para el monómero de cloruro de vinilo. Basándose en datos de Norteamérica y Europa, la utilización del dicloruro de etileno para fabricar otros productos, exceptuado el monómero de cloruro de vinilo, ascendería hasta el orden de un 5 por ciento del total de la producción de dicloruro de etileno.

ÓXIDO DE ETILENO

El óxido de etileno es un producto petroquímico intermedio utilizado para fabricar glicoles de etileno y otros productos. Los datos de la actividad para la producción de óxido de etileno pueden ser incompletos porque el óxido de etileno puede haber sido convertido en glicol de etileno en una planta integrada EO/EG. El óxido de etileno puede convertirse también en otros productos (p. ej., aminas, éteres, etc.) en plantas integradas. Dado que sólo alrededor de un 70 por ciento de la producción mundial de óxido de etileno se utiliza en la fabricación de glicoles de etileno, los datos de la actividad sobre la producción de otros productos químicos a partir del óxido de etileno pueden no ser más completos, respecto de la cobertura de la industria, que los datos de la actividad para la producción de óxido de etileno.

NEGRO DE HUMO

Pueden producirse pequeñas cantidades de negro de humo a partir de fuentes biogénicas (renovables) tales como el negro animal y el negro de hueso. Este negro de humo biogénico puede estar incorporado a las estadísticas nacionales sobre producción de negro de humo, lo cual resultaría en una sobreestimación de las emisiones de CO₂ provenientes del negro de humo derivado de los combustibles fósiles. También puede darse una producción de negro de humo dentro de las fronteras físicas de las refinerías de petróleo en vez de dentro de la industria química. Se anticipa que el negro de humo producido dentro de las refinerías de petróleo esté incorporado en las estadísticas nacionales de producción de negro de humo y, por ende, las emisiones de CO₂ de la producción de negro de humo dentro de las refinerías de petróleo deben declararse como emisiones provenientes de procesos industriales junto con las otras emisiones provenientes de la producción de negro de humo dentro de la industria química.

Puede haber lagunas en la exhaustividad respecto de los datos de la actividad sobre el consumo de sustancias de alimentación para negro de humo. Los datos de la actividad sobre las sustancias de alimentación para el negro de humo derivado del alquitrán de hulla, de gases de desecho o del acetileno pueden no estar disponibles, lo cual resultará en una subestimación de las emisiones de CO₂ para la producción de negro de humo si se hubiera utilizado un método de equilibrio de masas de los niveles superiores.

3.9.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones provenientes de la producción petroquímica y del negro de humo deben estimarse mediante métodos del mismo Nivel y el mismo tipo de datos de la actividad para todos los años. La construcción de una serie temporal para las emisiones provenientes de la producción petroquímica y de negro de humo mediante datos de la actividad obtenidos de mediciones específicas de la planta proporcionará las emisiones actuales más exactas. Sin embargo, es muy probable que no se disponga de datos de la actividad sobre las emisiones fugitivas o de la quema en antorcha para los años anteriores. Si no se han producido actualizaciones tecnológicas, el cálculo de un factor de emisión específico de la planta basado en datos de mediciones recientes relacionados con la producción de productos petroquímicos puede proveer un resultado razonable. La producción petroquímica está a menudo integrada en un complejo industrial que produce más de un producto químico o que intercambia flujos químicos o de energía con plantas industriales adyacentes e incluso el negro de humo puede producirse dentro de las refinerías de petróleo. Al construir una serie temporal basada en el consumo de sustancias de alimentación hay que tomar precauciones para garantizar que los datos de la actividad incluyan los mismos flujos en cada año de la serie temporal. Otra vez, se puede emplear un cálculo de tipo Nivel 1 que utilice factores de emisión desarrollados a partir de estimaciones recientes y específicas de la planta basadas en cálculos de balance de carbono de Nivel 2. También deben realizarse investigaciones para poner en evidencia un cambio en la elección de las sustancias de alimentación al proceso, así como las variaciones en los productos químicos primarios y secundarios producidos, tanto en el curso de un año determinado como entre los diferentes años. La reconstrucción de los vacíos existentes en las estimaciones de emisiones y la repetición de los cálculos deben respetar la orientación dada en el Volumen 1, Capítulo 5.

3.9.3 Evaluación de incertidumbre

En esta sección se discuten las evaluaciones de la incertidumbre para cada factor de emisión y para los datos de la actividad aplicables a cada proceso. Los intervalos de incertidumbre para los factores de emisión y para los datos de la actividad incluidos en los Cuadros de las secciones precedentes están resumidos en el Cuadro 3.27.

METANOL

Una gran parte de la incertidumbre asociada a las estimaciones de emisiones para la producción de metanol está relacionada con la dificultad para determinar los datos de la actividad que incluyen la cantidad de metanol producido y, en el caso de la metodologías de niveles superiores, con la cantidad de gas natural o de otras sustancias de alimentación consumidas sobre una base anual. Puede suceder que el consumo de gas natural y de otras sustancias de alimentación sólo esté declarado sobre una base anual en las estadísticas nacionales sobre energía, sin desglosar este consumo para la producción de metanol. Si no se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de gas natural, entonces sólo es aplicable un método de factor de emisión, en vez de un método de balance de carbono de nivel superior. Si no se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de otras sustancias de alimentación para la producción de metanol, se puede suponer que toda la producción nacional de metanol proviene de una alimentación de gas natural. Sin embargo, esta hipótesis introduciría cierta incertidumbre. Más aún, puede suceder que los datos de la actividad no estén disponibles para el consumo anual de alimentación de CO₂ en las plantas que utilizan el CO₂ como sustancia complementaria de alimentación en el proceso de producción.

ETILENO

La incertidumbre asociada a los datos de la actividad sobre la producción de etileno está relacionada con la dificultad para determinar los tipos, las cantidades y características de las sustancias de alimentación al proceso de escisión al vapor (p. ej., etano, nafta) y los tipos, cantidades y características de los productos del proceso (p. ej., etileno, propileno). Puede suceder que el consumo de sustancias de alimentación y la producción de productos sólo estén declarados sobre una base anual en las estadísticas nacionales sobre energía y en las estadísticas sobre productos básicos, sin desglosar este consumo para el proceso de producción de etileno por escisión al vapor. La capacidad de realizar un cálculo de balance de carbono para la producción de etileno depende de la disponibilidad tanto de los datos de la actividad sobre el consumo de sustancias específicas de alimentación, como de la producción de productos específicos del proceso de escisión al vapor. Si sólo se dispone de datos sobre la producción nacional anual de etileno, se puede suponer la sustancia de alimentación por defecto para el país y/o la región y aplicar el factor de emisión por defecto. En este caso, debería realizarse el análisis de las sustancias de alimentación mediante la utilización del cuadro de rendimientos por defecto para la sustancia de alimentación por defecto. Sin embargo, dada la gran variabilidad de los factores de emisión y de los factores de rendimiento entre las sustancias de alimentación, la no disponibilidad de datos de la actividad sobre el consumo de sustancias específicas podría introducir incertidumbres significativas en los cálculos de emisiones y en el análisis de las sustancias de alimentación. Si se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de sustancias específicas de alimentación, entonces pueden realizarse estimaciones de emisiones y análisis de sustancias para cada alimentación, lo cual reduciría la incertidumbre. Sin embargo, lo ideal es disponer de datos de la actividad, tanto sobre el consumo de sustancias específicas de alimentación como sobre la producción de productos específicos, lo cual permitiría la realización de cálculos de balance de carbono de un nivel superior.

Otra fuente de incertidumbre está relacionada con la dificultad para determinar otros detalles de la configuración del proceso de escisión al vapor del etileno, incluidos los contraflujos de productos del proceso de escisión al vapor desde la planta petroquímica hacia la refinería de petróleo [potencialmente adyacente] y los flujos de productos derivados que se queman en la antorcha o para recuperar energía. La no disponibilidad de datos de la actividad para los contraflujos de refinería introduciría incertidumbre en el análisis de las sustancias de alimentación.

DICLORURO DE ETILENO Y MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO

Las fuentes de incertidumbre para el dicloruro de etileno incluyen la dificultad para determinar el proceso específico utilizado en la producción de dicloruro de etileno y para determinar los datos de la actividad sobre el consumo de etileno como sustancia de alimentación al proceso de producción. Si sólo se dispone de datos de la actividad sobre la producción de dicloruro de etileno, el cálculo de las emisiones puede realizarse usando el factor de rendimiento por defecto del proceso por defecto [equilibrado] y el factor de emisión por defecto para el proceso. Sin embargo, dada la gran variabilidad de los factores de emisión y de los factores de rendimiento para el proceso de oxiclорación, la no disponibilidad de datos específicos sobre el consumo de etileno como sustancia de alimentación podría introducir incertidumbres significativas en los cálculos de emisiones.

ÓXIDO DE ETILENO

La fuente principal de incertidumbre para la producción de óxido de etileno es la dificultad para determinar los datos de la actividad sobre el consumo de etileno como sustancia de alimentación al proceso de producción de óxido de etileno. Si no se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de etileno, entonces sólo es aplicable un método de factor de emisión, en vez de un método de balance de carbono de nivel superior. Si sólo se dispone de datos sobre la producción nacional anual de óxido de etileno, se puede suponer el rendimiento de producto por defecto y aplicar el factor de emisión por defecto. En este caso, debería realizarse un análisis de las sustancias de alimentación mediante la utilización del factor de rendimiento de producto por defecto. Sin

embargo, dado el amplio espectro de los factores de rendimiento de producto declarados y de los factores de emisión para la producción de óxido de etileno, la no disponibilidad de datos específicos de actividad sobre el consumo de etileno para alimentación al proceso podría introducir incertidumbres significativas en los cálculos de emisiones.

ACRILONITRILO

Las fuentes de incertidumbre para la producción de acrilonitrilo incluyen la dificultad para determinar la configuración específica del proceso de producción de acrilonitrilo, para determinar los datos de la actividad para el consumo de propileno como sustancia de alimentación al proceso de producción y para determinar los datos de la actividad sobre la producción de acrilonitrilo y de acetónitrilo en el proceso. Si sólo se dispone de datos de la actividad sobre la producción de acrilonitrilo, el cálculo de las emisiones puede realizarse usando la configuración por defecto del proceso (suponiendo que no hay recuperación de acetónitrilo) y el factor de emisión por defecto para el proceso. Sin embargo, la hipótesis de que no hay recuperación de acetónitrilo del proceso introduce una incertidumbre significativa en los cálculos de las emisiones y de las sustancias de alimentación y puede resultar en una sobreestimación de las emisiones y una subestimación de la alimentación al proceso del acrilonitrilo. Los datos de la actividad sobre la producción nacional tanto del acrilonitrilo como del acetónitrilo en el proceso de producción de acrilonitrilo permitirían aplicar el factor de emisión específico del proceso para determinar el porcentaje de la producción nacional de acrilonitrilo del cual se recupera el acetónitrilo. Sin embargo, en el caso ideal, los datos de la actividad sobre el consumo de propileno y los datos de la actividad sobre el proceso de producción del acrilonitrilo, del acetónitrilo y del cianuro de hidrógeno permitirían la utilización de un método de nivel superior, lo cual reduciría la incertidumbre.

NEGRO DE HUMO

La incertidumbre asociada con los datos de la actividad sobre el proceso de producción del negro de humo está relacionada con la dificultad para determinar los tipos, las cantidades y características de las sustancias de alimentación primarias y secundarias al proceso del negro de humo y con la dificultad para determinar el tipo de proceso utilizado para la producción de negro de humo y las características del producto negro de humo del proceso. Puede suceder que el consumo de sustancias de alimentación y la producción de negro de humo esté declarado sobre una base anual sólo en las estadísticas nacionales sobre energía y en las estadísticas sobre productos básicos, sin desglosar este consumo para cada proceso de producción de negro de humo. La mayor parte de la producción mundial de negro de humo proviene de procesos de negro de horno y por lo tanto, si no se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de sustancias de alimentación para negro de humo, se puede suponer, sin introducir una incertidumbre muy grande, que toda la producción de negro de humo resulta del proceso del negro de horno.

También, si se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de sustancias primarias de alimentación al proceso del negro de humo, los datos pueden declararse en términos genéricos como «alimentación para negro de humo», sin indicar si se trata de una alimentación de sustancias basadas en el petróleo producido en las refinerías de petróleo o de sustancias basadas en el alquitrán de hulla producido a partir de la producción de coque metalúrgico. Los datos de la actividad sobre otras sustancias primarias de alimentación al proceso de negro de humo pueden no estar disponibles (p. ej., acetileno). También, se puede disponer de datos específicos de la actividad sobre el consumo de gas natural como sustancia secundaria de alimentación al proceso del negro de humo, pero puede suceder que no se disponga de datos de la actividad para otras sustancias secundarias de alimentación que pueden usarse en la producción de negro de humo (p. ej., gas de horno de coque). La no disponibilidad de datos sobre el consumo de sustancias específicas, primarias y secundarias, de alimentación, añadiría una incertidumbre al análisis de la alimentación al proceso.

La capacidad de realizar cálculos de balance de carbono para la producción de negro de humo, depende de la disponibilidad de los datos de la actividad sobre el consumo y las características de las sustancias primarias y secundarias de alimentación. Si sólo se dispone de datos sobre la producción nacional anual de negro de humo, se pueden suponer las características de una alimentación y un rendimiento de producto por defecto y aplicar el factor de emisión por defecto. Sin embargo, dada la variabilidad de las características y del origen de la alimentación, la no disponibilidad de datos de la actividad sobre el consumo y composición de las sustancias específicas de alimentación introduciría una incertidumbre significativa en los cálculos de las emisiones y de las sustancias de alimentación. Si se dispone de datos de la actividad específicos sobre el consumo y las características de la alimentación al proceso, así como sobre la producción de negro de humo asociada, entonces se puede realizar un balance de carbono y un análisis de la alimentación separados para cada sustancia de alimentación y para cada proceso mediante métodos de nivel superior, lo cual reduciría la incertidumbre.

INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE

En el Cuadro 3.27 se presentan los intervalos de incertidumbre para los factores de emisión de Nivel 1 y para los datos de la actividad de Nivel 2 y de Nivel 3 para cada proceso. La fuente de los datos o el dictamen de expertos utilizado para preparar las estimaciones de incertidumbre, se identifica en el cuadro para cada factor o dato de la

actividad. La solicitud del dictamen de expertos se realizó mediante una evaluación del intervalo de los datos disponibles. En muchos casos, sólo había datos específicos de procesos para varias plantas. Los intervalos relativamente grandes de incertidumbre son el resultado de la relativa escasez de datos y de la probable variabilidad de las configuraciones de los procesos y de la eficiencia en la utilización de sustancias de alimentación entre las plantas petroquímicas y de negro de humo.

CUADRO 3.27				
INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE PARA LOS FACTORES DE EMISIÓN Y LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD				
Método	Referencia	Factor	Intervalo de incertidumbre	Fuente
Nivel 3		Medición directa del consumo de combustible junto con muestras de la composición gaseosa para todas las sustancias	- 5% a + 5 %	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9, sobre la base de las debates con las industrias nacionales, enero de 2005.
Nivel 1	Cuadro 3.12	Factores de emisión de CO ₂ de la producción de metanol	-30% a +30%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9
Nivel 1	Cuadro 3.13	Factores de consumo de sustancias de alimentación al proceso de producción de metanol	-30% a +30%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9
Nivel 1		Factor de emisión de metano para la producción de metanol	-80% a +30%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9, sobre la base de los datos de la planta Methanex.
Nivel 1	Cuadro 3.14	Factores de emisión de CO ₂ para la producción de etileno	-30% a +30%	Documento IPPC LVOC BAT, Figura 7.10
Nivel 1	Cuadro 3.15	Factores de ajuste geográfico para los factores de emisión de CO ₂ para la producción de etileno	-10% a +10%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9
Nivel 1	Cuadro 3.16	Factores de emisión de metano para la producción de etileno	-10% a +10%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9
Nivel 1	Cuadro 3.17	Factores de emisión de CO ₂ de los venteos de proceso para la producción de dicloruro de etileno/cloruro de vinilo	-20% a +10%	Documento IPPC LVOC BAT, Cuadro 12.6 y 12.7
Nivel 1	Cuadro 3.17	Factores de emisión de CO ₂ para la producción de dicloruro de etileno/monómero cloruro de vinilo	-50% a +20%	Documento IPPC LVOC BAT, Cuadro 12.6 y 12.7
Nivel 1	Cuadro 3.18	Factores de consumo de sustancias de alimentación al proceso del dicloruro de etileno/cloruro de vinilo	-2% a +2%	Documento IPPC LVOC BAT, Sección 12.3.1, Página 300
Nivel 1	Cuadro 3.19	Factores de emisión de CH ₄ del proceso del dicloruro de etileno/cloruro de vinilo	-10% a +10%	Documento IPPC LVOC BAT, Sección 12.3.1, Cuadro 12.4, Página 300
Nivel 1	Cuadro 3.20	Factores de emisión de CO ₂ para la producción de óxido de etileno y el consumo de sustancias de alimentación al proceso	-10% a +10%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9
Nivel 1	Cuadro 3.21	Factores de emisión de CH ₄ para la producción de óxido de etileno	-60% a +60%	Documento IPPC LVOC BAT, Cuadro 9.6, Página 233, Cuadro 9.8, Página 236, Cuadro 9.9, Página 236
Nivel 1	Cuadro 3.22	Factores de emisión de CO ₂ para la producción de acrilonitrilo	-60% a +60%	Documento IPPC LVOC BAT, Sección 12.3.1, Cuadro 11.2, Página 274.

CUADRO 3.27 (CONTINUACIÓN) INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE PARA LOS FACTORES DE EMISIÓN Y LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD				
Método	Referencia	Factor	Intervalo de incertidumbre	Fuente
Nivel 1		Factores de emisión de CH ₄ para la producción de acrilonitrilo	-10% a +10%	Boustead, 2003b (<i>Eco-Profiles of the European Plastics Industry Methodology I</i> . Boustead, informe preparado para APME, julio de 2003, Página 40)
Nivel 1	Cuadro 3.23	Factores de emisión de CO ₂ para la producción de negro de humo	-15% a +15%	Documento borrador IPPC LVIC BAT, Cuadro 4.11, Página 214
Nivel 1	Cuadro 3.24	Factores de emisión de CH ₄ para la producción de negro de humo	-85% a +85%	Documento borrador IPPC LVIC BAT, Cuadro 4.8, Página 209
Nivel 2	Cuadro 3.25	Matriz alimentación-producto de la escisión al vapor del etileno	-10% a 10%	Dictamen de expertos por los Autores colaboradores de la Sección 3.9
Nivel 2	Cuadro 3.26	Factores de producción de productos secundarios para el proceso de producción del acrilonitrilo	-20% a +20%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9

3.9.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

3.9.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

La Garantía de calidad/el Control de calidad para los factores de emisión y los datos de la actividad recurre a métodos para mejorar la calidad o comprender mejor la incertidumbre de las estimaciones de emisiones. Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad para el método de Nivel 1, como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6. Si para determinar las emisiones se usan métodos de nivel 2 ó 3, han de aplicarse verificaciones de control de calidad y procedimientos de garantía de calidad más completos. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Evaluación de los datos de la actividad para los métodos de Nivel 1 y Nivel 2

Los métodos de Nivel 1 y Nivel 2 dependen ambos de la aplicación de datos de la actividad para la producción petroquímica y de negro de humo y/o de datos de la actividad para el consumo de sustancias de alimentación a los procesos. No es de esperar que estos datos varíen en más de +/- 10 por ciento de un año para otro, y se excluyen los cambios significativos en la producción económica general del país, la construcción de nuevas capacidades de producción petroquímica u otros factores similares. Si los datos de la actividad varían en más de un +/- 10 por ciento de un año para otro, es una *buena práctica* evaluar y documentar las condiciones específicas del país que dan cuenta de estas diferencias.

Evaluación de los factores de emisión para el método de Nivel 1

Los compiladores del inventario que desarrollan los factores de emisión específicos del país para la producción petroquímica y de negro de humo y que aplican el método de Nivel 1 deben determinar si los factores de emisión estimados están dentro del intervalo de los factores de emisión por defecto y de los factores de emisión específicos de los procesos proporcionados en esta orientación para el método de Nivel 1. Si los factores de emisión caen fuera del intervalo de los factores declarados en esta Orientación deben investigarse las razones de esta situación (p. ej., la configuración del proceso difiere de la de los factores de emisión declarados en esta orientación; la sustancia de alimentación es un material exclusivo no considerado en esta Orientación.) Los compiladores del inventario deben también garantizar que los factores de emisión específicos del país sean coherentes con los valores derivados del análisis químico del proceso. Por ejemplo, para la producción de metanol a partir del gas natural, el contenido de carbono del CO₂ generado, según lo estimado mediante el factor de emisión, debe ser aproximadamente igual a la diferencia entre el contenido de carbono de la alimentación de gas natural y el contenido de carbono del producto metanol. Si los factores de emisión se sitúan fuera de los intervalos estimados, es una *buena práctica* evaluar y documentar las condiciones específicas de la planta que dan cuenta de las diferencias. Es también una *buena práctica* que los compiladores del inventario que usan los factores de emisión para el método de Nivel 1 incluidos en esta Orientación, efectúen verificaciones de control

de calidad para evaluar si las características de los datos del factor de emisión están en conformidad con las características de los procesos de producción petroquímica y de negro de humo en el país donde se aplica el factor de emisión.

Evaluación de los cálculos del método de balance de masas de Nivel 2

La aplicación del método de balance de masas de Nivel 2 depende de la identificación y de la caracterización de los flujos del proceso. Para el método de Nivel 2, la incapacidad para identificar todos los contenidos de carbono de los flujos del proceso o una inapropiada caracterización de los índices de flujo o de los contenidos de carbono de tales flujos de proceso, puede resultar en una desviación significativa de las emisiones estimadas de CO₂ respecto de las emisiones reales de CO₂. Generalmente, la calidad de los resultados de los cálculos de balance de masas de Nivel 2 dependen más de la calidad de los datos de la actividad que los resultados de los cálculos de Nivel 1, pues por lo general, en el método de Nivel 2 es necesario aplicar un mayor número de datos de la actividad que en el método de Nivel 1. En consecuencia, es una *buena práctica* evaluar y documentar la calidad de cada dato de la actividad aplicado al método de Nivel 2, así como la exhaustividad de los datos de la actividad, antes de aplicar el método de Nivel 2. Si la calidad de los datos o su exhaustividad se revelan inadecuados para la aplicación del método de Nivel 2, se debe aplicar el método de Nivel 1.

Evaluación de los datos específicos de planta para el método de Nivel 3

El método de Nivel 3 está basado en la aplicación de datos de emisiones específicas de planta. Es una *buena práctica* que los compiladores del inventario efectúen auditorías de las estimaciones de emisiones específicas de planta que se utilizan en el inventario. Esto implica evaluar si los datos específicos de planta son representativos de las emisiones provenientes de la planta y, si al inventario nacional se aplican los datos específicos de planta correspondientes a una planta específica, evaluar si estos datos específicos de planta son representativos de los procesos de producción petroquímica y de negro de humo del país, considerados en su totalidad. La auditoría de los datos específicos de planta implicaría la evaluación de:

la documentación sobre la metodología de las mediciones específicas de la planta;

la documentación sobre los resultados de las mediciones específicas de la planta;

el método utilizado para los cálculos y las estimaciones;

las sustancia(s) de alimentación al proceso y el (los) producto(s) del proceso;

los datos de la actividad empleados en los cálculos de emisiones;

la documentación sobre la tecnología del proceso y su configuración;

la lista de hipótesis formuladas.

Si el proceso específico para el cual se obtienen datos específicos de la planta se considera no representativo de las otras plantas del país que producen el mismo producto petroquímico (p. ej., si difiere la alimentación al proceso o la configuración del proceso), entonces los datos específicos de la planta no deben aplicarse a la totalidad del inventario, sino sólo a los datos de la actividad sobre la planta específica. Si se recopilan mediciones de emisiones provenientes de plantas individuales, los compiladores deben garantizar que las mediciones se hayan efectuado según las normas nacionales o internacionales reconocidas y que los métodos de control de calidad hayan sido aplicados a estas mediciones. Los procedimientos de control de calidad en vigor en la planta deben referenciarse directamente e incluirse en el plan de control de calidad. Si las prácticas de medición no fueron coherentes con las normas de control de calidad o si los procedimientos de medición y los resultados no pueden documentarse de manera adecuada, el compilador debe reconsiderar el uso de los datos específicos de la planta.

3.9.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Las emisiones provenientes de la combustión de descargas gaseosas generadas por los procesos de producción petroquímicos se atribuyen a la categoría de fuente del Sector IPPU que las produce y se declaran como emisiones provenientes de procesos industriales. Sin embargo, si una porción cualquiera de las descargas gaseosas generadas por una categoría de fuente del Sector IPPU se quema dentro de una categoría de fuente del Sector IPPU diferente, o se quema dentro de una categoría de fuente del Sector Energía, las emisiones correspondientes se declaran como emisiones provenientes de la quema de combustibles, en vez de emisiones provenientes de procesos industriales. Esto significa que si las emisiones provenientes de la combustión ocurren en la categoría de fuente del Sector IPPU que produce las descargas gaseosas, entonces las emisiones se declaran como emisiones de procesos industriales, atribuidas a esa categoría de fuente del Sector IPPU. Sin embargo, si las descargas gaseosas se transfieren fuera del proceso hacia otra categoría de fuente del Sector IPPU o hacia una categoría de fuente del Sector Energía, entonces las emisiones debidas a la combustión de las descargas gaseosas se declaran como emisiones provenientes de la quema de combustibles dentro de esa categoría de fuente. Cuando

se calcula el total de las emisiones debidas a la combustión de las descargas gaseosas, la cantidad transferida y declarada en el Sector Energía debe cuantificarse claramente en los cálculos para la categoría de fuente del Sector IPPU y del Sector Energía. Si se desarrolla un factor de emisión específico del país, deben proveerse los datos correspondientes sobre cómo se ha desarrollado el factor de emisión y sobre cómo éstos se han aplicado en el cálculo de las emisiones, incluidos los informes sobre la configuración del proceso de producción que haya servido de base a los cálculos del factor de emisión.

METANOL

La cantidad de metanol producido, la cantidad de alimentación en gas natural consumida en la producción de metanol y la cantidad de CO₂ complementario de alimentación consumida en la producción de metanol deben declararse en función de su disponibilidad. Si se usa un factor de emisión por defecto, debe indicarse en la documentación del informe y debe declararse la configuración del proceso de producción de metanol para el caso en que no se utilice la configuración por defecto del proceso.

ETILENO

La cantidad de cada sustancia de alimentación consumida en la producción de etileno, las cantidades de etileno y cada uno de los productos primarios producidos y recuperados como productos deben declararse en función de su disponibilidad. Si se usa un factor de emisión por defecto, debe indicarse en la documentación del informe y debe declararse la configuración y la(s) sustancia(s) de alimentación del proceso de producción de etileno para el caso en que no se utilicen la configuración por defecto del proceso ni la sustancia de alimentación por defecto del país o región.

DICLORURO DE ETILENO

La cantidad de dicloruro de etileno producido y la cantidad de etileno de alimentación consumido para la producción de dicloruro de etileno deben declararse según la disponibilidad de los datos. Si se usa un factor de emisión por defecto, debe indicarse en la documentación del informe y debe declararse la configuración del proceso de producción de dicloruro de etileno para el caso en el que no se utilice la configuración por defecto del proceso.

ÓXIDO DE ETILENO

La cantidad de óxido de etileno producido y la cantidad de etileno de alimentación consumido para la producción de óxido de etileno deben declararse según su disponibilidad de los datos. Si se usa un factor de emisión por defecto, debe indicarse en la documentación del informe y debe declararse la configuración del proceso de producción de óxido de etileno para el caso en que no se utilice la configuración por defecto del proceso.

ACRILONITRILLO

La cantidad de propileno de alimentación consumido en la producción de acrilonitrilo y las cantidades de acrilonitrilo, acetónitrilo y cianuro de hidrógeno producidos y recuperados como productos deben declararse en función de su disponibilidad. Si se usa un factor de emisión por defecto, esto debe indicarse en la documentación del informe y debe declararse la configuración del proceso de producción de acrilonitrilo para el caso en el que no se utilice la configuración por defecto del proceso.

NEGRO DE HUMO

La cantidad de negro de humo producido y las cantidades y características (contenido de carbono) de cada sustancia de alimentación primaria y secundaria consumida en la producción de negro de humo deben declararse en función de su disponibilidad. Si se usa un factor de emisión por defecto, debe indicarse en la documentación del informe y debe declararse la configuración del proceso de producción de negro de humo para el caso en el que no se utilice la configuración por defecto del proceso.

Anexo 3.9A Diagramas de flujo alimentación-producto

Figura 3.11 Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de metanol

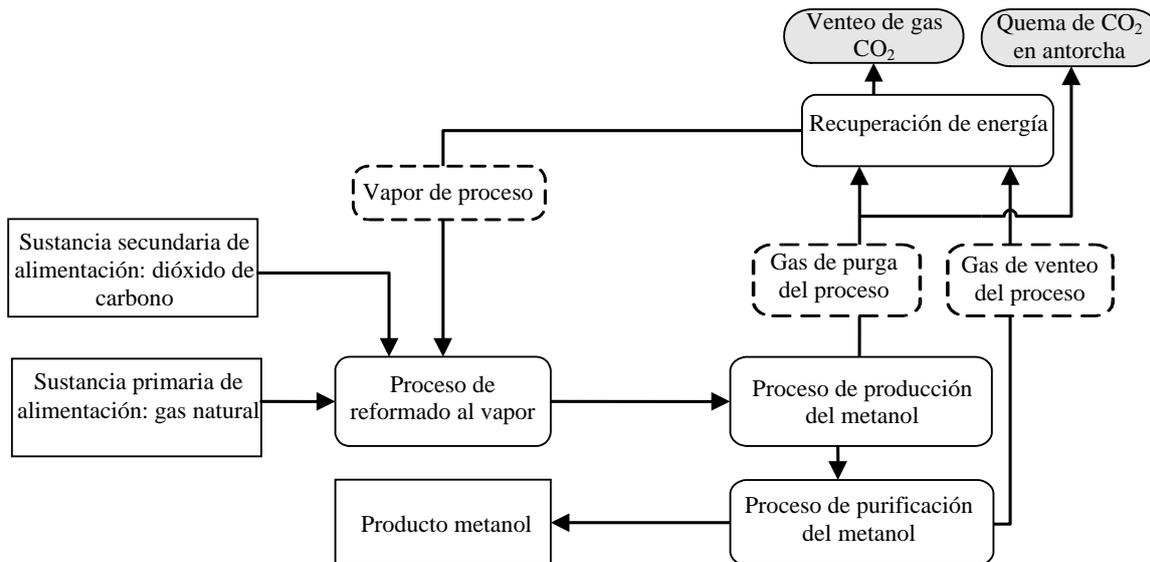


Figura 3.12 Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de dicloruro de etileno

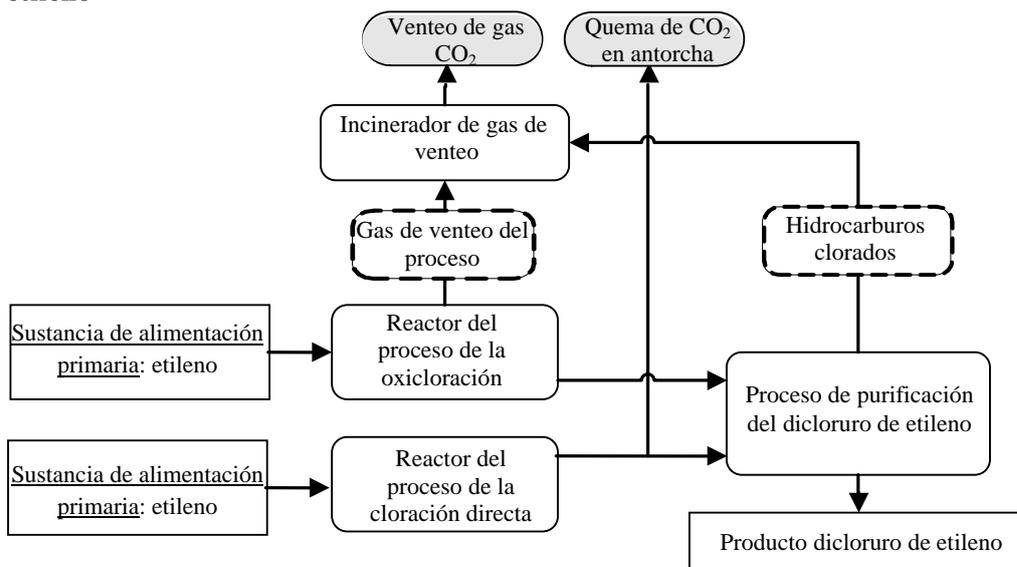


Figura 3.13 Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de óxido de etileno

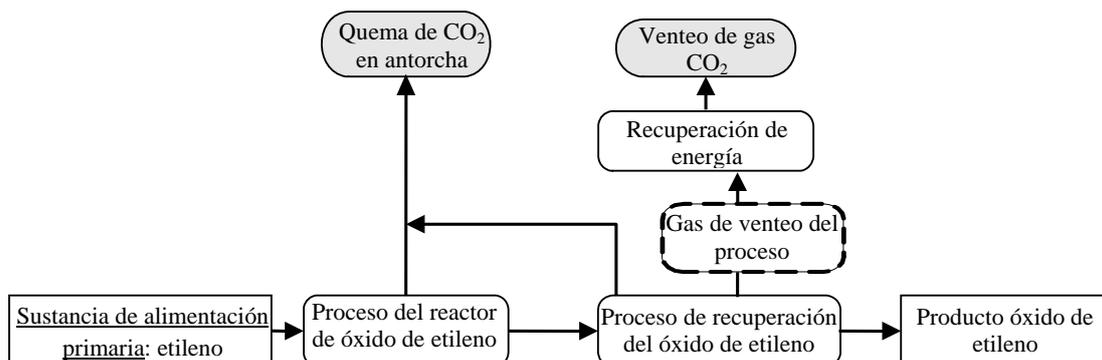


Figura 3.14 Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de acrilonitrilo

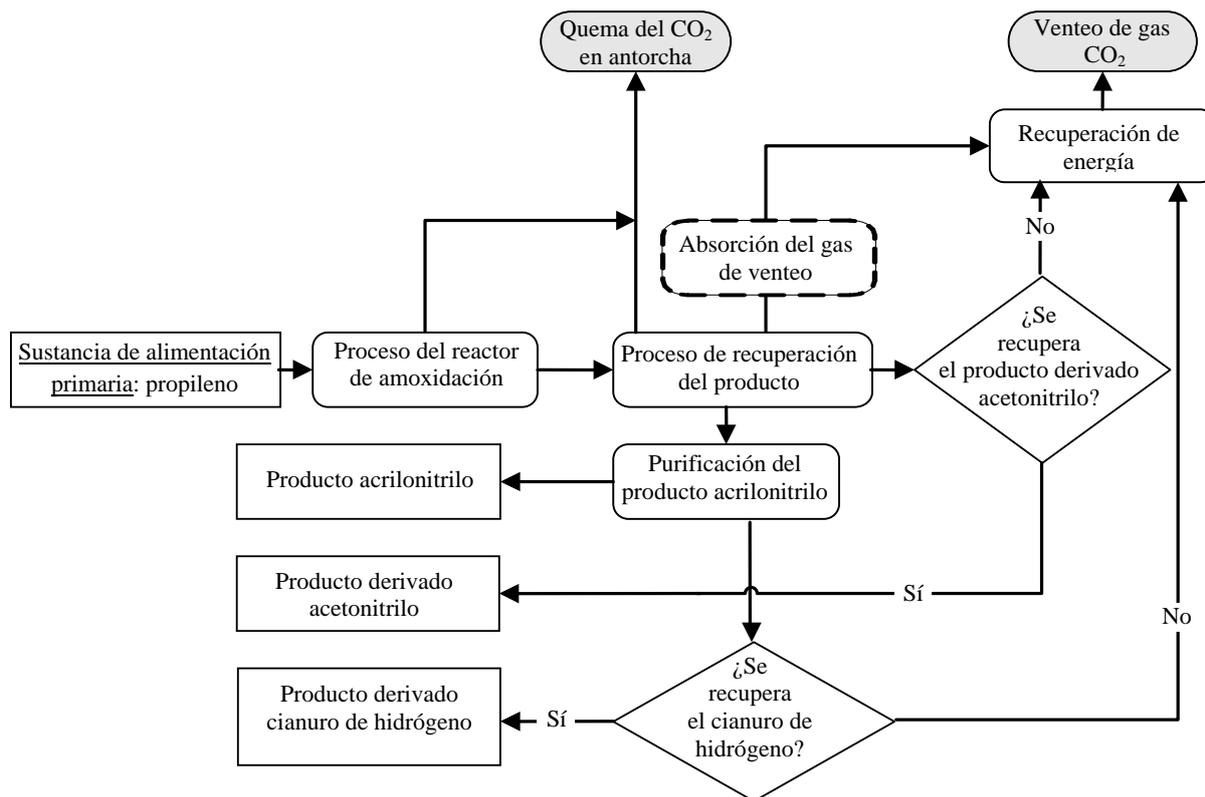
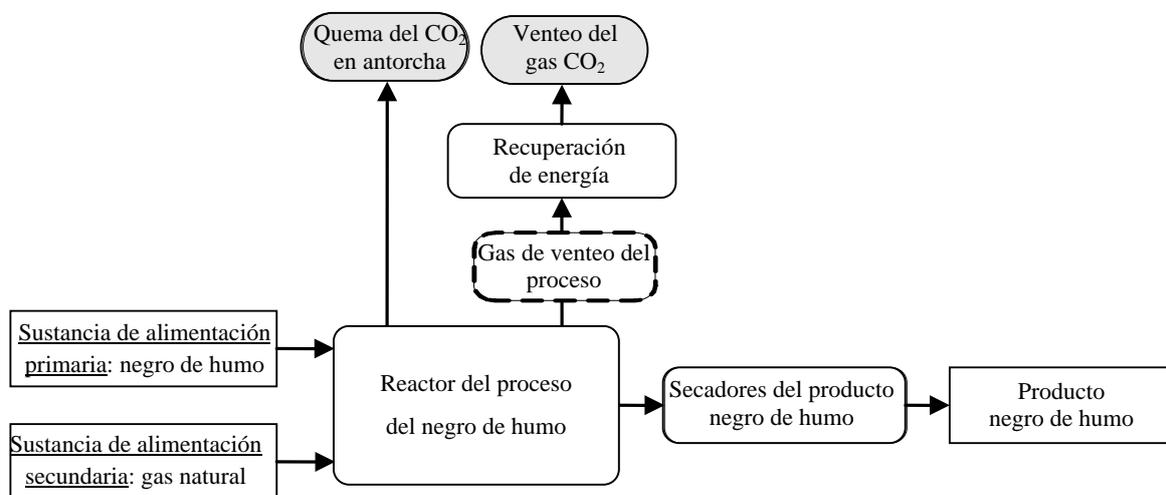


Figura 3.15 Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de negro de humo



3.10 PRODUCCIÓN FLUOROQUÍMICA

3.10.1 Emisión de HFC-23 de la producción de HCFC-22

3.10.1.1 INTRODUCCIÓN

El trifluorometano (HFC-23 o CHF₃) se genera como un producto derivado durante la fabricación de clorodifluorometano (HCFC-22 o CHClF₂).³ Los materiales tales como el HFC-23 (y otros HFC, PFC y SF₆) no

³ Se emplea el HCFC-22 como refrigerante en diversas aplicaciones diferentes, como componente de mezcla en el soplado de espumas y como sustancia de alimentación para la fabricación de polímeros sintéticos.

son eliminados de manera significativa mediante los procesos de depuración acuosa (ácida, neutra o alcalina) y se liberan en la atmósfera. Se estima que en 1990, el HFC-23 liberado desde las plantas de HCFC-22 fue de un 4 por ciento, como máximo, de la producción de HCFC-22 (U.S. EPA, 2001), en ausencia de medidas de reducción. Mundialmente, hay un reducido número de plantas de producción de HCFC-22 y por tanto, un número discreto de fuentes por puntos de emisiones de HFC-23. Aún cuando la metodología aquí descrita es aplicable a las emisiones de productos derivados de cualquier gas fluorado de efecto invernadero, ésta ha sido redactada específicamente para el HFC-23. La metodología para las emisiones de productos derivado fluorados en general y para las «emisiones fugitivas» queda cubierta por la Sección 3.10.2

3.10.1.2 CUESTIONES METODOLÓGICAS

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Existen dos métodos amplios de medición para estimar las emisiones de HFC-23 provenientes desde las plantas de HCFC-22. Se los describe en IPCC (2000), DEFRA (2002a y 2002b), EFCTC (2003) y UN (2004) y han sido traducidos en términos de las metodologías de Nivel 2 y 3 descritas más abajo. Las emisiones nacionales obtenidas mediante una u otra de estas metodologías corresponden a la suma de las emisiones de las instalaciones individuales. La metodología de Nivel 1 (por defecto) puede aplicarse a las plantas individuales, o si no hay reducción por destrucción, al total de la salida nacional de HCFV-22. La contabilización de las emisiones de HFC-23 no es simplemente mecánica sino que requiere información sobre las operaciones del proceso que son responsables de la producción y las emisiones de HFC-23, de modo que se puedan adoptar la metodología y los factores más apropiados. Por ello, es una *buena práctica* establecer contactos, en la medida de lo posible, con los directores de las plantas con el fin de obtener los datos necesarios.

El método de Nivel 1 es relativamente simple y consiste en la aplicación de un factor de emisión por defecto a la cantidad de HCFC-22 producido. Este método puede aplicarse al nivel de planta o al nivel nacional. Las metodologías de Nivel 2 y Nivel 3 son adecuadas sólo para los cálculos al nivel de las plantas pues se apoyan en datos que sólo se pueden obtener de las plantas. En los casos en los que se disponga de datos de Nivel 3 para algunas plantas, los métodos de Nivel 1 ó 2 pueden aplicarse a las plantas restantes para garantizar una cobertura completa.

Es una buena práctica estimar las emisiones nacionales sumando los parámetros medidos de todas las plantas de HCFC-22 de un país. Las mediciones de emisiones de Nivel 3 son las más exactas, seguidas por las mediciones de Nivel 2 basadas en la eficiencia de las plantas. La medición directa es significativamente más exacta que el Nivel 1 porque refleja las condiciones específicas de cada instalación de fabricación. En la mayoría de los casos, los datos necesarios para preparar las estimaciones de Nivel 3 deberían estar disponibles, pues las instalaciones que operan según las *buenas prácticas* del sector realizan muestreos regulares o periódicos de los venteos finales del proceso, o dentro del proceso mismo, como parte de las operaciones rutinarias. El método de Nivel 1 (por defecto) debe utilizarse sólo en los casos en que no se disponga de datos específicos de la planta y en que esta subcategoría no esté identificada como subcategoría significativa bajo la *categoría principal*. (Véase la Sección 4.2 del Volumen 1.) Las plantas modernas que utilizan una optimización del proceso tendrán que mantener datos muy exactos sobre la generación de HFC-23, como parte de esta optimización, de modo que los datos específicos de la planta puedan estar disponibles para la mayoría de los países y en la mayoría de los casos.

La selección del método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales. En el árbol de decisión de la Figura 3.16 se describen *buenas prácticas* para adaptar los métodos de estas *Directrices* a las circunstancias nacionales.

Los procedimientos destinados a reducir las emisiones incluyen la destrucción del HFC-23 en una instalación particular y en este caso, las emisiones se producen sólo cuando la instalación de destrucción no está funcionando. El nivel de la metodología proporciona estimaciones para la cantidad de HFC-23 que se produce y la parte de la producción que se emite finalmente depende de la extensión del período en que la instalación de destrucción permanece fuera de uso. En las instalaciones donde se emplean técnicas de reducción tales como la destrucción del HFC-23, la verificación de la eficiencia de reducción se realiza también de manera rutinaria. Allí donde se haya verificado la reducción mediante los registros de los procesos en cada planta, es una *buena práctica* restar las emisiones reducidas de HFC-23 de las estimaciones nacionales.

Nivel 1

En la metodología de Nivel 1 se utiliza un factor por defecto para estimar la producción (y las emisiones potenciales) de HFC-23 de la producción total de HCFC-22 para cada instalación (tanto para los usos dispersivos potenciales, como se declaran en el Protocolo de Montreal, como para los usos en alimentación a procesos, los cuales se declaran separadamente a la Secretaría del ozono). Véase la Ecuación 3.30.

ECUACIÓN 3.30
CÁLCULO DE NIVEL 1 PARA EL HFC-23 MEDIANTE UN FACTOR POR DEFECTO
A PARTIR DEL HCFC-22 (PRODUCIDO)

$$E_{\text{HFC-23}} = EF_{\text{por defecto}} \cdot P_{\text{HCFC-22}}$$

Donde:

$E_{\text{HFC-23}}$ = emisiones de producto derivado HFC-23 de la producción de HCFC-22, kg.

$EF_{\text{por defecto}}$ = factor de emisión de HFC-23 por defecto, kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

$P_{\text{HCFC-22}}$ = producción total de HCFC-22, kg.

Esta metodología es adecuada allí donde no se disponga de mediciones específicas de planta y en ese caso, la condición por defecto es que toda la producción estimada de HFC-23 se libera hacia la atmósfera.

Nivel 2

En la metodología de Nivel 2, el factor de emisión de HFC-23 se deriva de los registros sobre las eficiencias del proceso y se usa en el cálculo que se muestra en la Ecuación 3.31. Éste es un método de balance de materiales y depende del cálculo de la diferencia entre la producción esperada de HCFC-22 y la producción real y de la atribución de esta diferencia a las pérdidas de materias primas, a las pérdidas de producto (HCFC-22) y a la conversión en productos derivados, incluido el HFC-23. Estos parámetros serán diferentes para cada planta de modo que deben evaluarse por separado para cada instalación que declara para los datos nacionales.

ECUACIÓN 3.31
CÁLCULO DE NIVEL 2 PARA EL HFC-23 MEDIANTE FACTOR(ES) CALCULADOS
DE LAS EFICIENCIAS DEL PROCESO A PARTIR DEL HCFC-22 (PRODUCIDO)

$$E_{\text{HFC-23}} = EF_{\text{calculado}} \cdot P_{\text{HCFC-22}} \cdot F_{\text{liberado}}$$

Donde:

$E_{\text{HFC-23}}$ = emisiones de producto derivado HFC-23 de la producción de HCFC-22, kg.

$EF_{\text{calculado}}$ = factor de emisión de HFC-23 calculado, kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

$P_{\text{HCFC-22}}$ = producción total de HCFC-22, kg.

F_{liberado} = fracción de año en que esta corriente es liberada sin tratar hacia la atmósfera, fracción

El factor de emisión puede calcularse tanto al partir de la eficiencia del carbono (Ecuación 3.32), y de la eficiencia del flúor (Ecuación 3.33) como del valor empleado en la Ecuación 3.31 debería ser normalmente el promedio de estos dos valores, a menos que existan consideraciones de excepción a la regla que puedan documentarse de manera adecuada (tales como una incertidumbre mucho menor para una de las mediciones de eficiencia).

Las eficiencias promedio anuales del balance de carbono y de flúor son características propias de una planta de HCFC-22 bien operada que están normalmente disponibles para el operador de la planta o que pueden obtenerse examinando los registros contables del proceso. Por igual, si existe un sistema de tratamiento de los venteos, la extensión de los períodos de funcionamiento y de tratamiento de las corrientes de venteo de la planta de HCFC-22 deben estar disponibles en los registros. La producción total de HCFC-22 incluye materiales que se utilizan como alimentación química al proceso así como los que se venden para usos dispersivos potenciales.

ECUACIÓN 3.32
CÁLCULO DEL FACTOR DE EMISIÓN DE HFC-23 DE LA EFICIENCIA DEL BALANCE DE CARBONO

$$EF_{\text{balance de carbono}} = \frac{(100 - CBE)}{100} \cdot F_{\text{pérdida de eficiencia}} \cdot FCC$$

Donde:

$EF_{\text{balance de carbono}}$ = factor de emisión de HFC-23 calculado de la eficiencia del balance de carbono, kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

CBE = eficiencia del balance de carbono, porcentaje

$F_{\text{pérdida de eficiencia}}$ = factor de atribución de pérdida de eficiencia al HFC-23, fracción

FCC = factor para el contenido de carbono de este componente (= 0,81), kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

y

$$\text{ECUACIÓN 3.33}$$

$$\text{CÁLCULO DEL FACTOR DE EMISIÓN DE HFC-23 DE LA EFICIENCIA DEL BALANCE DE FLÚOR}$$

$$EF_{\text{balance de flúor}} = \frac{(100 - FBE)}{100} \cdot F_{\text{pérdida de eficiencia}} \cdot FCC$$

Donde:

$EF_{\text{balance de flúor}}$ = factor de emisión de HFC-23 calculado de la eficiencia del balance de flúor, kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

FBE = eficiencia del balance de flúor, porcentaje

$F_{\text{pérdida de eficiencia}}$ = factor de atribución de pérdida de eficiencia al HFC-23, fracción

FCC = factor para el contenido de flúor de este componente (= 0,54), kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

El factor de atribución de pérdida de eficiencia al HFC-23 es específico de cada planta y si se usa este método de cálculo, este factor debería haber sido determinado por el operador de la planta. Por defecto, este valor es de 1: vale decir, toda la pérdida de eficiencia es atribuida a la coproducción de HFC-23. En la práctica, ésta es generalmente la pérdida de eficiencia más significativa y es mucho más grande que las pérdidas de materias primas o productos.

Los factores del contenido de carbono y de flúor se calculan a partir de las composiciones moleculares del HFC-23 y del HCFC-22 y son comunes para todas las plantas de HCFC-22, con 0,81 para el carbono y 0,54 para el flúor.

Nivel 3

Las metodologías de Nivel 3 son potencialmente las más exactas. Las metodologías de Nivel 3 aquí propuestas dan resultados equivalentes y la elección entre ellas estará impuesta por la información disponible en las instalaciones individuales. En este caso, la emisión nacional es la suma de las emisiones específicas de la fábricas, cada una de las cuales puede determinarse por un método de Nivel 3 para estimar la composición y el índice de flujo de las corrientes gaseosas que se ventean hacia la atmósfera (ya sea directa y continuamente — como en el Nivel 3a— o por monitoreo continuo de un parámetro del proceso relacionado con la emisión — Nivel 3b— o bien, por monitoreo continuo de la concentración de HFC-23 dentro de la corriente de producto del reactor —Nivel 3c):

$$\text{ECUACIÓN 3.34}$$

$$\text{CÁLCULO DE NIVEL 3a DE LAS EMISIONES DE HFC-23}$$

$$\text{A PARTIR DE LAS CORRIENTES INDIVIDUALES DEL PROCESO (MÉTODO DIRECTO)}$$

$$E_{\text{HFC-23}} = \sum_i \sum_j \int_t C_{ij} \cdot f_{ij} \quad [\int_t \text{significa que la cantidad debe sumarse a lo largo del tiempo.}]$$

Donde:

$E_{\text{HFC-23}}$ = emisiones totales de HFC-23: la suma sobre todas las plantas i , todas las corrientes j en cada planta, de los flujos de masa emitidos f y las concentraciones C , es integrada en el transcurso del tiempo t . (Véase la Ecuación 3.37 para el cálculo de las emisiones «instantáneas» de HFC-23 en una corriente de proceso individual.)

o bien, donde se utilice la metodología de sustitución:

$$\text{ECUACIÓN 3.35}$$

$$\text{CÁLCULO DE NIVEL 3b DE LAS EMISIONES DE HFC-23}$$

$$\text{A PARTIR DE LAS CORRIENTES INDIVIDUALES DEL PROCESO (MÉTODO SUSTITUTO)}$$

$$E_{\text{HFC-23}} = \sum_i \sum_j \int_t E_{ij} \quad [\int_t \text{significa que esta cantidad debe sumarse a lo largo del tiempo.}]$$

Donde:

$E_{\text{HFC-23}}$ = emisiones totales de HFC-23: $E_{i,j}$ son las emisiones provenientes de cada planta y de cada corriente, determinadas mediante el método sustituto. (Véase la Ecuación 3.38 para el cálculo de las emisiones de HFC-23 en una corriente de proceso individual.)

o bien, donde se utilice la concentración de HFC-23 dentro de la corriente de producto del reactor:

ECUACIÓN 3.36
CÁLCULO DE NIVEL 3c DE LAS EMISIONES DE HFC-23
A PARTIR DE LAS CORRIENTES INDIVIDUALES DEL PROCESO
(POR MONITOREO DEL PRODUCTO DEL REACTOR)

$$E_{\text{HFC-23}} = \sum_i \int_t C_i \cdot P_i \quad [\int_t \text{ significa que esta cantidad debe sumarse a lo largo del tiempo. }]$$

Donde:

$E_{\text{HFC-23}}$ = emisiones totales de HFC-23: P_i es el flujo de masa del producto HCFC-22 desde el reactor de la planta i , y C_i es la concentración de HFC-23 respecto del producto HCFC-22 de la planta i . (Véase la Ecuación 3.40 para el cálculo de las emisiones de HFC-23 en una instalación individual por medición interna en el proceso.)

Nivel 3a

El método de Nivel 3a está basado en mediciones frecuentes o continuas de la concentración y del índice de flujo en la columna de venteo en una planta individual. De manera que la cantidad emitida hacia la atmósfera sea el producto matemático de la concentración de masa del componente de la corriente, el índice de flujo de la corriente total (en unidades compatibles con las de la concentración de masa) y la extensión del intervalo de tiempo en que ocurre el flujo:

ECUACIÓN 3.37
CÁLCULO DE NIVEL 3a DE LAS EMISIONES «INSTANTÁNEAS» DE HFC-23
EN UNA CORRIENTE DE PROCESO INDIVIDUAL (MÉTODO DIRECTO)

$$E_{ij} = C_{ij} \cdot f_{ij} \cdot t$$

Donde:

E_{ij} = emisiones «instantáneas» de HFC-23 desde la corriente de proceso j en la planta i , kg.

C_{ij} = concentración de HFC-23 en la corriente de gas efectivamente venteado **desde la corriente de proceso j en la planta i** , kg. de HFC-23/kg. de gas

f_{ij} = flujo de masa de la corriente de gas **desde la corriente de proceso j en la planta i** (por lo general medido volumétricamente y convertido en flujo de masa mediante métodos estándar de ingeniería de procesos), kg. de gas/hora

t = extensión del intervalo de tiempo durante la cual se miden estos parámetros y permanecen constantes, horas

Si algo del HFC-23 se recupera desde la corriente de venteo para usarlo como sustancia de alimentación a procesos y, por ende, se le destruye, habrá que descontarlo de esta emisión; los materiales que se recuperan para usos en que pueden ser emitidos pueden descontarse aquí, si las emisiones están incluidas en la cantidad calculada mediante los métodos del capítulo 7. A diferencia de los métodos de Nivel 3b y 3c, y puesto que en este nivel las emisiones se miden directamente, no es necesario prever un término separado para el material recuperado.

La cantidad total de HFC-23 liberado corresponde entonces a la suma anual de estas liberaciones instantáneas medidas. Los periodos en que la corriente de venteo es procesada en una unidad de destrucción para eliminar el HFC-23 no deben contabilizarse en estos cálculos. Si fuera necesario estimar la cantidad destruida en cada instalación, el operador debe calcularlo basándose en la diferencia entre el tiempo de operación de la planta y la duración de las liberaciones (el tiempo t , indicado más arriba).

Nivel 3b

En muchos casos las mediciones no son continuas sino que se obtienen durante un periodo de sondeo intensivo del proceso o de pruebas de la planta y los resultados de las pruebas pueden utilizarse para proporcionar un sustituto a los cálculos de emisiones durante los periodos de operación normal de la planta. En este caso, el índice de emisión del producto derivado está relacionado con un parámetro de más fácil medición (o más

exacto), tal como el índice de flujo de una sustancia de alimentación. Las pruebas deben cumplir con los requisitos siguientes:

No deben haberse producido cambios mayores en el diseño de procesos, la construcción ni en la operación que afecten a la planta en los flujos que preceden al punto de las mediciones y que pudieran haber modificado las relaciones entre emisiones y producción, perdiendo éstas su validez. (Véase también el Recuadro 3.14)

Las relaciones entre emisiones y el régimen operacional de la planta deben determinarse durante la(s) prueba(s), junto con sus incertidumbres.

Para casi todos los casos, el régimen operacional de la planta es un sustituto adecuado y la cantidad de HFC-23 emitido depende del régimen operacional actual y de la extensión del intervalo de tiempo durante el cual se liberó el flujo de venteo.

ECUACIÓN 3.38
CÁLCULO DE NIVEL 3B DE LAS EMISIONES DE HFC-23
EN UNA CORRIENTE DE PROCESO INDIVIDUAL (MÉTODO SUSTITUTO)

$$E_{ij} = S_{ij} \cdot F_{ij} \cdot POR_{ij} \cdot t - R_{ij}$$

Donde:

E_{ij} = la emisión de masa de HFC-23 en la corriente de venteo ***j* en la planta *i***, kg.

S_{ij} = la emisión de masa estándar de HFC-23 en la corriente de venteo ***j* en la planta *i*** por «unidad» de cantidad sustituta, tal como el régimen operacional de la planta (descrito en la Ecuación 3.39, más abajo), kg./«unidad»

F_{ij} = un factor adimensional que relaciona el índice de emisión de masa estándar con el índice de emisión en el punto real del régimen operacional de la planta. En muchos casos, la fracción producida no es sensible al régimen operacional y F_{ij} corresponde a la unidad (vale decir, el factor de emisión es proporcional al régimen operacional). En otros casos, el índice de emisión es una función más compleja del régimen operacional. En todos los casos F_{ij} debe derivarse durante las pruebas de la planta midiendo la producción de HFC-23 bajo diferentes regímenes operacionales. Para las situaciones en las que no se pueda determinar una función simple que relacione las emisiones con el régimen operacional a partir de las pruebas, el método sustituto no se considera apropiado y es deseable que se efectúen mediciones continuas.

POR_{ij} = el régimen operacional actual del proceso aplicable a la corriente de venteo ***j* en la planta *i*** promediado en el tiempo ***t* en «unidades/hora»**. Las unidades de este parámetro deben ser coherentes entre las pruebas de planta que establecieron el índice de emisión estándar y las estimaciones de las emisiones operacionales en curso (descrito en la Ecuación 3.39, más abajo).

t = la duración total real *del venteo* para el año, o el periodo, si el proceso no es operado de manera continua, en horas. Las emisiones anuales resultan de la suma de todos los periodos durante el año. Los periodos durante los cuales la corriente de venteo haya sido procesada en un sistema de destrucción no deben contabilizarse aquí.

R_{ij} = la cantidad de HFC-23 recuperada para la corriente de venteo ***j* en la planta *i*** para usos como sustancia de alimentación a procesos y, por ende, destruida, kg. El material recuperado para usos en los cuales puede ser emitido potencialmente puede contabilizarse aquí si las emisiones están incluidas en las cantidades calculadas con los métodos para las sustancias sustitutas de las SAO, en el Capítulo 7 de este volumen.

ECUACIÓN 3.39
CÁLCULO DE NIVEL 3B DE LA EMISIÓN ESTÁNDAR PARA EL MÉTODO SUSTITUTO

$$S_{T,ij} = C_{T,ij} \cdot f_{T,ij} / POR_{T,ij}$$

Donde (para cada prueba T):

S_{ij} = la emisión de masa estándar de HFC-23 en la corriente de venteo ***j* en la planta *i***, kg./«unidad» (en unidades compatibles con los factores de la Ecuación 3.38, véase $POR_{T,ij}$, más abajo)

$C_{T,ij}$ = la concentración fraccional de masa del HFC-23 en la corriente de venteo ***j* en la planta *i*** durante la prueba T , kg./kg.

$f_{T,ij}$ = el índice de flujo de masa promedio de la corriente de venteo ***j* en la planta *i*** durante la prueba T , kg./kg.

$POR_{T,ij}$ = la cantidad sustituta (tal como el régimen operacional del proceso) en la planta i durante la prueba T , «unidad»/hora. La «unidad» depende de la cantidad sustituta adoptada para la planta i y corriente de venteo j (por ejemplo, kg./hora o m³/hora o sustancia de alimentación)

Nivel 3c

Es un procedimiento relativamente simple para monitorear la concentración de HFC-23 en el producto de un sistema de reacciones en relación con la cantidad de HCFC-22. Esto proporciona una base para las estimaciones de la cantidad de HFC-23 liberado, expresada como el producto matemático de la concentración monitoreada y el flujo de masa del HCFC-22 fabricado. Si no hay tratamiento del venteo para reducir las emisiones, éste es un procedimiento simple. Sin embargo, allí donde haya reducción de emisiones debe probarse que ésta trata efectivamente todas las corrientes que pueden liberarse hacia la atmósfera, incluidos los gases de venteo directos y la desgasificación de las corrientes acuosas. Estas últimas, en particular, puede que no pasen por una instalación de destrucción. Si ninguna corriente de venteo potencial es tratada, no puede utilizarse este método.

ECUACIÓN 3.40
CÁLCULO DE NIVEL 3c DE LAS EMISIONES DE HFC-23
DESDE UNA INSTALACIÓN INDIVIDUAL POR MEDICIÓN AL INTERIOR DEL PROCESO

$$E_i = C_i \cdot P_j \cdot t_F - R_i$$

Donde:

E_i = emisiones de HFC-23 desde una instalación individual i , kg.

C_i = la concentración de HFC-23 en el producto del reactor en la instalación i , kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

P_j = la masa de HCFC-22 producida en la instalación i mientras se aplica esta concentración, kg.

t_F = la duración fraccional durante la cual este HFC-23 se ventea efectivamente hacia la atmósfera, en vez de ser destruido, fracción

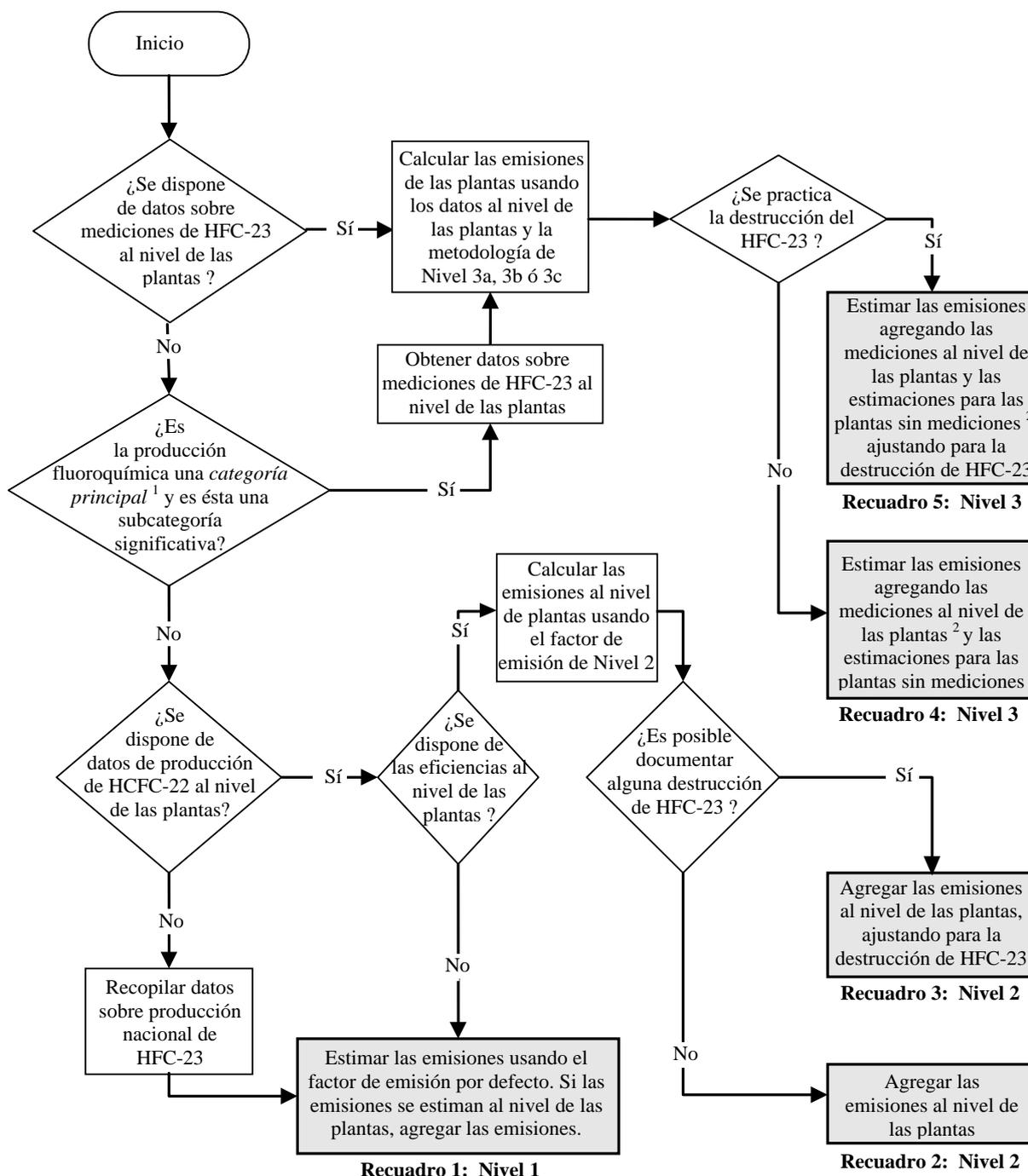
R_i = la cantidad de HFC-23 recuperado de la instalación i para usos como sustancia de alimentación a procesos y, por ende, destruida, kg. El material recuperado para usos en los cuales puede ser emitido potencialmente puede contabilizarse aquí si las emisiones están incluidas en las cantidades calculadas con los métodos del Capítulo 7 de este volumen.

La cantidad total de HFC-23 liberado hacia la atmósfera es la suma de las cantidades provenientes de los periodos individuales de liberación y de los sistemas de reacción individuales.

El HFC-23 que se recupera para usarlo como sustancia química de alimentación a procesos debe restarse de la cantidad total estimada aquí.

En síntesis, el método de Nivel 1 es relativamente simple y consiste en la aplicación de un factor de emisión por defecto a la cantidad de HCFC-22 producido. Este método puede aplicarse al nivel de planta o al nivel nacional. Las metodologías de Nivel 2 y 3 son adecuadas sólo para los cálculos de nivel de planta. En los casos en que se disponga de datos de Nivel 3 para algunas plantas, los métodos de Nivel 1 ó 2 pueden aplicarse a las demás para garantizar una cobertura completa. La incertidumbre en la emisión nacional se calcula entonces mediante el uso de incertidumbres ponderadas de las fuentes individuales y de técnicas estadísticas estándar. Independientemente del método, las emisiones reducidas deben restarse de la estimación bruta de cada planta para determinar las emisiones netas antes de que éstas sean sumadas para la estimación nacional.

Figura 3.16 **Árbol de decisión para las emisiones de HFC-23 provenientes de la producción de HCFC (u otras emisiones similares de productos derivados de la producción fluoroquímica)**



Notas:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4.

Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

2. Si se dispone de datos de Nivel 3 para algunas plantas, se puede aplicar los métodos de Nivel 1 ó Nivel 2 a las demás para garantizar una cobertura exhaustiva.

Es una *buen práctica* emplear el método de Nivel 3 en la medida de lo posible. La medición directa es significativamente más exacta que el Nivel 1 porque refleja las condiciones específicas de cada planta de fabricación. En la mayoría de los casos, los datos necesarios para preparar las estimaciones de Nivel 3 deberían estar disponibles, pues las instalaciones que operan según las *buenas prácticas* del sector realizan, como parte de las operaciones rutinarias, muestreos regulares o periódicos de los venteos finales del proceso o dentro del proceso mismo. En las instalaciones donde se emplean técnicas de reducción tales como la destrucción del HFC-23, la verificación de la eficiencia de reducción se realiza también de manera rutinaria. El método de Nivel

1 (por defecto) debe utilizarse sólo en los raros casos en que no se disponga de datos específicos de la planta y en que esta subcategoría no esté identificada como sub-categoría significativa bajo la *categoría principal*. (Véase la Sección 4.2 del Volumen 1.)

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

En el método de Nivel 3 se dan varias posibilidades de medición relacionadas con la ubicación y la frecuencia de los muestreos. En general, las mediciones directas de las emisiones de HFC-23 pueden otorgar la mayor exactitud, pero las mediciones continuas o frecuentes de los parámetros dentro del área misma del proceso pueden ser más prácticas e igualmente exactas. En ambos casos, la frecuencia de las mediciones debe ser suficientemente elevada como para representar la variabilidad en el proceso (p. ej., a lo largo de la vida útil del catalizador). Los temas relacionados con la frecuencia de las mediciones están resumidos en el Recuadro 3.14, Frecuencia de las mediciones de planta. En el Volumen 1, Capítulo 2 se proporcionan consejos generales sobre muestreos y representatividad.

En los casos en que no se disponga de mediciones o muestreos específicos de la planta y en que se usen métodos de Nivel 1, debe emplearse el factor de emisión por defecto, suponiendo que no hay métodos de reducción. Para las plantas que operan desde antes de 1995, el factor de emisión por defecto es de 0,04 kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22 (4 por ciento) (IPCC, 1996; USEPA, 2001). Es un valor por defecto que debe utilizarse cuando no hay mediciones y describe la salida del HFC-23 de una planta típica de HCFC-22, en ausencia de la recuperación o destrucción de HFC-23. Este valor es coherente con las observaciones atmosféricas de las concentraciones de HFC-23 durante el periodo de 1978 a 1995 (Oram *et al.*, 1998). Éstas revelaron que el promedio de las emisiones mundiales eran equivalentes al 2 por ciento de la cantidad total del HCFC-22 producido en una época en que se recuperaba una cantidad significativa de HFC-23 y se convertía en halón 1301 (McCulloch, 1992) y en que se requería la práctica de la reducción en varios países donde la producción era significativa.

Es posible reducir la producción, por un proceso de optimización, a un valor comprendido entre 0,014 y 0,03 kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22 (1,4 a 3 por ciento), pero no es posible eliminar por completo la formación de HFC-23 por esta vía (IPCC, 2000). Más aún, la cuantía de la reacción de reducción depende mucho del diseño del proceso y del entorno económico (a menudo, las medidas para reducir el HFC-23 pueden reducir la salida del proceso). En un proceso optimizado, la producción y las emisiones de HFC-23 habrán sido medidas invariablemente. No es posible optimizar la operación del proceso sin tales mediciones y, por esto, los valores por defecto para una planta individual no tienen sentido en este contexto. Sin embargo, las tecnologías de última generación han avanzado mediante la optimización de plantas individuales y estos avances deben haber sido incorporados al diseño de las plantas recientes, lo cual sugiere un factor de emisión de 0,03 kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22 (3 por ciento). Estos valores por defecto poseen una incertidumbre elevada (alrededor del 50 por ciento). Para realizar evaluaciones más exactas, las emisiones reales deben determinarse mediante las metodologías de Nivel 2 ó 3, y si fuera necesario, deben atribuirse a años anteriores haciendo uso de la orientación proporcionada en el Capítulo 7 de este volumen.

CUADRO 3.28	
FACTORES DE EMISIÓN DE HFC-23 POR DEFECTO	
Tecnología	Factor de emisión (kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22 producido)
Plantas antiguas no optimizadas (p. ej., 1940 a 1990/1995)	0,04
Plantas de diseño reciente, no optimizadas específicamente	0,03
Promedio mundial de emisiones (1978 – 1995) ⁴	0,02
<i>A título de comparación:</i>	
<i>Grandes plantas optimizadas –que requieren mediciones de HFC-23 (Nivel 3)</i>	<i>Reducido a 0,014</i>
<i>Plantas con captura efectiva y destrucción de HFC-23 (Nivel 3)</i>	<i>Reducido a cero</i>

⁴ El promedio mundial se calcula a partir de los cambios en la concentración atmosférica del HFC-23. Éste no discrimina entre las emisiones de planta, que varían entre cero hasta más del 4 por ciento de la producción de HCFC-22.

RECUADRO 3.14
FRECUENCIA DE LAS MEDICIONES DE PLANTA

El grado de exactitud y la precisión de las estimaciones de las emisiones anuales de HFC-23 dependen de la cantidad de muestras (la frecuencia de la recopilación de muestras) acompañadas del grado de exactitud de las mediciones de los índices de flujo y de la medida en que las mediciones de flujo puedan ser representativas de la cantidad total venteadada. Dado que los procesos de producción no son del todo estáticos, mientras más grande sea la variabilidad del proceso, más frecuentemente las plantas necesitan efectuar mediciones. Como regla general, los muestreos y análisis deben repetirse toda vez que una planta introduzca cambios significativos en el proceso. Antes de elegir una frecuencia de muestreo, la planta debe fijarse un objetivo para la exactitud y utilizar herramientas estadísticas para determinar el tamaño de las muestras que permitan alcanzarlo. Por ejemplo, un estudio de los productores de HCFC-22 indica que un muestreo diario es suficiente para alcanzar una estimación anual extremadamente exacta. Este objetivo de exactitud debe luego revisarse, si fuera necesario, para tomar en cuenta los recursos disponibles. (RTI, Cadmus, 1998)

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Al emplear un método de Nivel 1, los datos de producción deben obtenerse directamente de los productores. Existen varias vías por las cuales los productores pueden determinar sus niveles de producción, incluidos el peso de los envíos y las mediciones de volumen multiplicado por la densidad, mediante medidores de flujo. Estos datos deben dar cuenta de toda la producción de HCFC-22 para el año, sea ésta para la venta o para uso interno como alimentación a procesos, y la planta debe describir cómo se determina la tasa de producción del HCFC-22. En algunas circunstancias, los productores pueden considerar que los datos de producción de la planta son confidenciales. Para los datos de la actividad de nivel nacional, la presentación de los datos de producción de HCFC-22 es un requisito del Protocolo de Montreal.

EXHAUSTIVIDAD

Debería ser posible obtener datos completos de muestreos pues en cada país existe sólo un número reducido de plantas de HCFC-22 y es práctica corriente que cada operador de planta monitoree las eficiencias del proceso, y en consecuencia, las pérdidas de HFC-23, lo cual conduce a la adopción de la metodología de Nivel 2. Las eficiencias de las destrucciones de los oxidantes térmicos utilizados para reducir el HFC-23 suelen ser altas (> 99 por ciento), pero es importante determinar la composición del gas de salida, de modo que se garantice que se ha tomado en cuenta las emisiones de gases fluorados de efecto invernadero desde este punto.

DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

La emisión de HFC-23 a partir de la producción de HCFC-22 debe estimarse utilizando el mismo método para toda la serie temporal y para los factores de emisión apropiados. Si no se dispone de datos de Nivel 3 para cualquiera de los años de la serie temporal, estas lagunas deben completarse según la orientación entregada en el Volumen 1, Capítulo 5.

3.10.1.3 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

NIVEL 1

A diferencia de los otros Niveles, donde las incertidumbres se basan en mediciones y en estadísticas, las incertidumbres del Nivel 1 se evalúan a través del dictamen de expertos y, según lo que se conoce sobre la variabilidad de las emisiones desde diferentes instalaciones de fabricación, para el Nivel 1 debe considerarse un error cercano al 50 por ciento. Un error de esta magnitud sobrepasará completamente la incertidumbre asociada a la actividad.

NIVEL 2

La incertidumbre del resultado del Nivel 2 se calcula mediante la raíz de la suma cuadrática de las incertidumbres individuales para las cantidades y las eficiencias de masa de la producción, suponiendo que las incertidumbres para el carbono y el flúor son iguales. Si las incertidumbres de la eficiencia del carbono y del flúor difieren significativamente (lo suficiente como para causar una diferencia concreta respecto de la emisión calculada), debe usarse el valor con la incertidumbre menor para la totalidad de los cálculos.

La incertidumbre en los valores derivados por el método de Nivel 2 es mucho mayor que lo que esperado del Nivel 3, pero es, a pesar de todo, cuantificable. Típicamente, para una planta que produce alrededor de un 4 por ciento de HFC-23, la eficiencia del carbono se sitúa en el intervalo de un 95 por ciento y la eficiencia del flúor, en el intervalo de un 92 por ciento. Si estas eficiencias pueden medirse con un margen de error del 1 por ciento, entonces el error en la estimación de Nivel 2 para el HFC-23 sería inferior al 20 por ciento. La estimación de las

eficiencias con este grado de exactitud requiere que los procedimientos de contabilización sean rigurosos y que todas las materias primas y los productos para la venta sean pesados al entrar y al salir de la instalación. Un tal régimen fija así la exactitud esperada de la actividad general (tanto para el Nivel 1 como para el Nivel 2); mediante una buena contabilización de la producción por peso, debería ser posible reducir el error en la actividad por debajo del 1 por ciento.

NIVEL 3

Para el HFC-23, el método de Nivel 3 es significativamente más exacto que cualquiera de los otros métodos, ya sea el de Nivel 2 con mediciones o el de Nivel 1 por defecto. El muestreo regular de Nivel 3 de la corriente de venteo puede alcanzar una exactitud del 1 al 2 por ciento con un nivel de confianza de 95 por ciento para las emisiones de HFC-23 y el resultado de incertidumbre de Nivel 3 (sustituto) puede ser similar. En ambos casos, la incertidumbre puede calcularse estadísticamente de las incertidumbres de los parámetros de la entrada, y puesto que estos métodos no dependen de factores de emisión ni de actividades, el concepto de subdividir la incertidumbre carece de validez.

La incertidumbre de las estimaciones se expresa como coeficiente de varianza (porcentaje), y para cada una de estas corrientes, existirá una incertidumbre como consecuencia de las incertidumbres en la concentración y el índice de flujo medidos y de la incertidumbre en la duración del flujo. La incertidumbre combinada puede determinarse analíticamente y debe calcularse mediante la metodología estándar descrita en el **Capítulo 3 del Volumen 1**.

3.10.1.4 GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD (GC/CC), GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, Capítulo 6 y procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones provenientes de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificado en el Volumen 1, Capítulo 4.

Además de la orientación del Volumen 1, se delinean a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos

Los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones de emisiones declaradas con las que se hayan determinado mediante el factor por defecto de Nivel 1 y los datos de producción. Si sólo se dispone de datos sobre la producción nacional, deben comparar las emisiones agregadas de las plantas agregadas con una estimación nacional por defecto. Si la comparación arroja diferencias significativas, deben responder a las siguientes preguntas:

- ¿Existen inexactitudes asociadas con alguna de las estimaciones de las plantas individuales? (p. ej., un valor atípico extremo puede estar dando cuenta de una cantidad no razonable de emisiones.)
- ¿Difieren significativamente los factores de emisión específicos de planta entre sí?
- ¿Son coherentes los índices de producción específicos de las plantas con los índices de producción publicados al nivel nacional?
- ¿Existe alguna otra explicación para una diferencia significativa, tales como el resultado de controles, la manera cómo se declara la producción o posibles hipótesis no documentadas?

Verificación de la medición directa de emisiones

Los compiladores del inventario deben confirmar que para las mediciones de planta se hayan aplicado métodos estándar y reconocidos internacionalmente. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces se debe evaluar cuidadosamente el uso de tales datos de emisiones. Es también posible que en los sitios donde están en vigor altos estándares de mediciones y de GC/CC, la incertidumbre en la estimación de emisiones sea revisada a la baja.

El proceso de GC/CC de cada planta debe ser evaluado para determinar si la cantidad de muestras y la frecuencia de recopilación de muestras son apropiadas, dada la variabilidad del proceso en sí.

Donde sea posible, los compiladores deben verificar todos los datos medidos y calculados comparándolos con los de otros sistemas de medición o de cálculo. Por ejemplo, la medición de emisiones dentro del proceso mismo puede verificarse periódicamente mediante mediciones en la corriente de venteo. Los compiladores del inventario deben verificar la utilización y la eficiencia del sistema de reducción de emisiones.

Mediante una auditoría externa periódica de las técnicas de medición y de los resultados de las mediciones de la planta, es posible también comparar los factores de emisión implicados entre las diferentes plantas y dar cuenta de las diferencias mayores.

GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11.

A continuación se indican algunos ejemplos de documentación y generación de informes pertinentes para esta categoría de fuente:

Para asegurar la transparencia de los informes, las emisiones de HFC-23 de la producción de HCFC-22 deben declararse como un rubro aparte, en vez de incluirlas en otras emisiones de HFC.

La documentación debe incluir también:

- la descripción metodológica;
- la cantidad de plantas de HCFC-22;
- la producción de HCFC-22 (si hay múltiples productores);
- la presencia de tecnologías de reducción de emisiones;
- las descripciones de los procesos, parámetros operativos; y
- los factores de emisión relacionados.

Confidencialidad

El empleo de los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3 significaría que las emisiones de HFC-23 de las plantas son declaradas separadamente de la producción de HCFC-22. Al desvincular las emisiones de HFC-23 y la producción de HCFC-22, los datos sobre emisiones de HFC-23 no pueden considerarse como confidencias comerciales pues, sin un conocimiento detallado y confidencial de la planta de fabricación individual, no revelan los niveles de producción de HCFC-22.

La aplicación del método de Nivel 1 a la producción nacional total de HCFC-22, permitiría que los datos de producción se calculen a partir de las emisiones publicadas de HFC-23 y, si hubiera menos de tres productores, tales datos podrían ser considerados información comercial confidencial. En tales casos, deben tomarse medidas para proteger la confidencialidad, por ejemplo, mediante la agregación de todas las emisiones de HFC. Por razones de transparencia, toda vez que se practique la agregación de datos, se debe incluir un análisis cualitativo de la producción de HCFC-22.

Cuando las emisiones nacionales se calculan como la suma de las emisiones provenientes de las instalaciones individuales y éstas se han calculado mediante metodologías diferentes, no es posible recalculer la producción de HCFC-22 a partir de estos datos solos y no debería haber problemas respecto de la confidencialidad.

3.10.2 Emisiones provenientes de la producción de otros compuestos fluorados

3.10.2.1 INTRODUCCIÓN

Un gran número de gases de efecto invernadero que contienen flúor pueden producirse como productos derivados de la fabricación fluorquímica y pueden ser emitidos hacia la atmósfera. Por ejemplo, en un reciente inventario nacional, para una planta fluorquímica se declararon emisiones significativas de productos derivados como: SF₆, CF₄, C₂F₆, C₃F₈, C₄F₁₀, C₅F₁₂ y C₆F₁₄ (UNFCCC, 2005). Otros ejemplos incluyen la liberación del producto derivado CF₄ de la producción de CFC-11 y 12 o de SF₆ a partir de la producción hexafluoruro de uranio, en el ciclo del combustible nuclear.

Las emisiones de una sustancia química ocurren durante su producción y distribución o como producto derivado durante la producción de una sustancia química relacionada (el HFC-23 de la producción de HCFC-22 está cubierto específicamente en la Sección 3.10.1, más arriba). Puede haber también emisiones provenientes del material que se está produciendo: las llamadas «emisiones fugitivas». Las emisiones, tanto de productos derivados como fugitivas, se calculan de la misma manera. En esta sección no se abordan específicamente las emisiones asociadas con el uso, las cuales se contabilizan en las emisiones relacionadas con el consumo (véanse los Capítulos 4.5, 6, 7 y 8 de este volumen). Típicamente, los productos fluoroquímicos pueden liberarse de procesos químicos que abarcan un amplio espectro de tecnologías y procesos⁵:

- Proceso de telomerización empleado en la producción de fluidos y polímeros fluoroquímicos;
- Fotooxidación del tetrafluoroetileno para fabricar fluidos fluoroquímicos;
- Fluoración directa utilizada a menudo en la producción de SF₆;
- Procesos de intercambio de halógenos para fabricar los PCF de bajo punto de ebullición, tales como C₂F₆ y CF₄, HFC 134a y 245fa;
- Fabricación del NF₃ por fluoración directa;
- Producción de hexafluoruro de uranio;
- Producción de monómeros fluorados como el tetrafluoroetileno y el hexafluoropropileno;
- Producción de agroquímicos fluoroquímicos;
- Producción de anestésicos fluoroquímicos.

Los procesos de intercambio de halógenos se utilizan de manera extensiva para la fabricación de los HFC, mientras que la mayoría de los PFC y el SF₆ requieren flúor elemental, generado electroquímicamente. En los procesos de «fluoración electroquímica», el flúor no se separa sino que se integra al producto deseado en la célula electroquímica. En otros procesos, el flúor se separa y se utiliza seguidamente, ya sea como gas elemental o como un componente de un sistema de transporte como el CoF₃. A cada proceso corresponderá un espectro diferente de emisiones, en términos, tanto de la naturaleza química como de las cantidades, por lo cual una función de emisión por defecto común a todos es relativamente de poco valor. Es esencial que se identifique la existencia de plantas potencialmente emisoras dentro de cada país y en consecuencia, esta etapa es la primera en el árbol de decisión (Figura 3.17). El factor común de estas plantas es el uso del fluoruro de hidrógeno anhidro, que es la fuente de flúor en el proceso de intercambio de halógenos y en los procesos que emplean el flúor elemental. La producción e importación de fluoruro de hidrógeno anhidro puede utilizarse entonces como un medio de seguimiento de los productores significativos de sustancias fluoroquímicas. Investigaciones ulteriores (véase la Figura 3.17) pueden entonces dilucidar si hay o no emisiones significativas de gases fluoroquímicos de efecto invernadero.

3.10.2.2 CUESTIONES METODOLÓGICAS

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Es una *buena práctica* elegir el método utilizando el árbol de decisiones que se muestra en la Figura 3.17. Si la Categoría 2B9 Producción fluoroquímica se identifica como *principal* y se juzga que esta subcategoría es significativa, los compiladores del inventario deben considerar si las emisiones están o no dominadas por la producción de un subconjunto de sustancias químicas, y concentrar los esfuerzos más sofisticados de recopilación de datos en la producción de estas sustancias. El número de productores principales de estos gases fluorados de efecto invernadero es bastante reducido: en el caso del SF₆, en el mundo existen alrededor de 6 compañías que poseen cerca de 10 instalaciones de producción al nivel mundial (Preisegger, 1999). El número de productores más pequeños puede aumentar en el futuro próximo, particularmente en los países en desarrollo. Sin embargo, no debería ser difícil compilar un censo de los productores nacionales.

Nivel 1

En la metodología de Nivel 1, puede usarse un factor de emisión por defecto, o un número similar derivado para las circunstancias particulares de un país, para estimar las emisiones nacionales relacionadas con la producción de gases fluorados de efecto invernadero individuales, como los HFC, PFC, SF₆ y otros.

⁵ Esta lista es ilustrativa.

ECUACIÓN 3.41
CÁLCULO DE NIVEL 1 PARA LAS EMISIONES RELACIONADAS CON LA PRODUCCIÓN

$$E_k = EF_{\text{por defecto},k} \bullet P_k$$

Donde:

E_k = emisiones relacionadas con la producción del gas fluorado de efecto invernadero k , kg.

$EF_{\text{por defecto},k}$ = factor de emisión por defecto, kg./kg.

P_k = producción total del gas fluorado de efecto invernadero k , kg.

Los problemas de confidencialidad que surjan de las declaraciones de datos sobre componentes específicos pueden evitarse proporcionando una cifra única para el total de las emisiones nacionales de cada HFC, PFC y SF6. Esto puede ser facilitado si los datos son recolectados por un tercero y declarados sólo como este total.

Nivel 2

El método basado en las eficiencias del proceso, válido para las emisiones de HFC-23 de las plantas de HCFC-22, es de menor valor para otros tipos de plantas. Esto se debe en parte a la menor ineficiencia esperada de estas otras emisiones de productos derivados; es probable que la incertidumbre en la medición de eficiencias sea mucho mayor que el factor de emisión del producto derivado. Más aún, una gama de productos derivados puede ser responsable de la ineficiencia del proceso (a diferencia del caso del HCFC-22, donde predomina un producto derivado). Sin embargo, los datos sobre la eficiencia de producción deben existir para cada proceso, y en ausencia de estimaciones más rigurosas, la cantidad de emisiones estimadas a partir de las ineficiencias del proceso puede ser utilizada para tomar una decisión cualitativa respecto de si estas emisiones constituyen o no una subcategoría significativa bajo una *categoría principal* (en cuyo caso, se especifica la metodología de Nivel 3).

Nivel 3

La metodología de Nivel 3 es potencialmente la más exacta de las estimaciones y corresponde a la suma de las emisiones específicas de la fábrica para cada producto derivado de gas fluorado de efecto invernadero que se haya determinado utilizando métodos de estimación estándar para la composición y el índice de flujo de las corrientes gaseosas que se ventean efectivamente hacia la atmósfera, después de aplicar cualquier tecnología de reducción. En este caso:

ECUACIÓN 3.42
CÁLCULO DE NIVEL 3 PARA LAS EMISIONES RELACIONADAS CON LA PRODUCCIÓN

$$E_k = \sum_i \sum_j \int_t C_{ijk} \bullet f_{ijk} \quad [\int_t \text{significa que esta cantidad debe sumarse a lo largo del tiempo.}]$$

Donde:

E_k = total de las emisiones relacionadas con la producción del gas fluorado de efecto invernadero k , kg. la suma, para todas las planta i , sobre todas las corrientes j de cada planta, de los flujos de masa emitidos f y las concentraciones C , integrada con el tiempo t .

o bien, allí donde se use la metodología sustituta, por ejemplo, y donde el índice de emisión del producto derivado se haya normalizado en términos de un parámetro que se puede medir más fácilmente (o con mayor exactitud), tal como el índice de flujo de la alimentación al proceso, como se describe en la Ecuación 3.35 en la Sección 3.10.1:

ECUACIÓN 3.43
CÁLCULO DE NIVEL 3 SUSTITUTO PARA LAS EMISIONES RELACIONADAS CON LA PRODUCCIÓN

$$E_k = \sum_i \sum_j \int_t E_{ijk} \quad [\int_t \text{significa que esta cantidad debe sumarse a lo largo del tiempo.}]$$

Donde:

E_k = total de las emisiones relacionadas con la producción del gas fluorado de efecto invernadero k , kg.

E_{ijk} = las emisiones de gas fluorado de efecto invernadero k de cada planta i y de cada flujo determinado por los métodos sustitutos descritos en las Ecuaciones 3.38 y 3.39 en la Sección 3.10.1

Nótese que, en general, los flujos se miden volumétricamente y que deben convertirse en flujos de masa (kg./hora), sobre la base de la ley del gas ideal, la temperatura, la presión y la composición; por igual, la concentración debe convertirse en unidades compatibles (p. ej., kg./kg.).

En este caso, los índices de flujo, las concentraciones y la duración deben calcularse separadamente para los periodos en que la tecnología de reducción está o no en funciones, y sólo deben sumarse y declararse los periodos que producen emisiones efectivas.

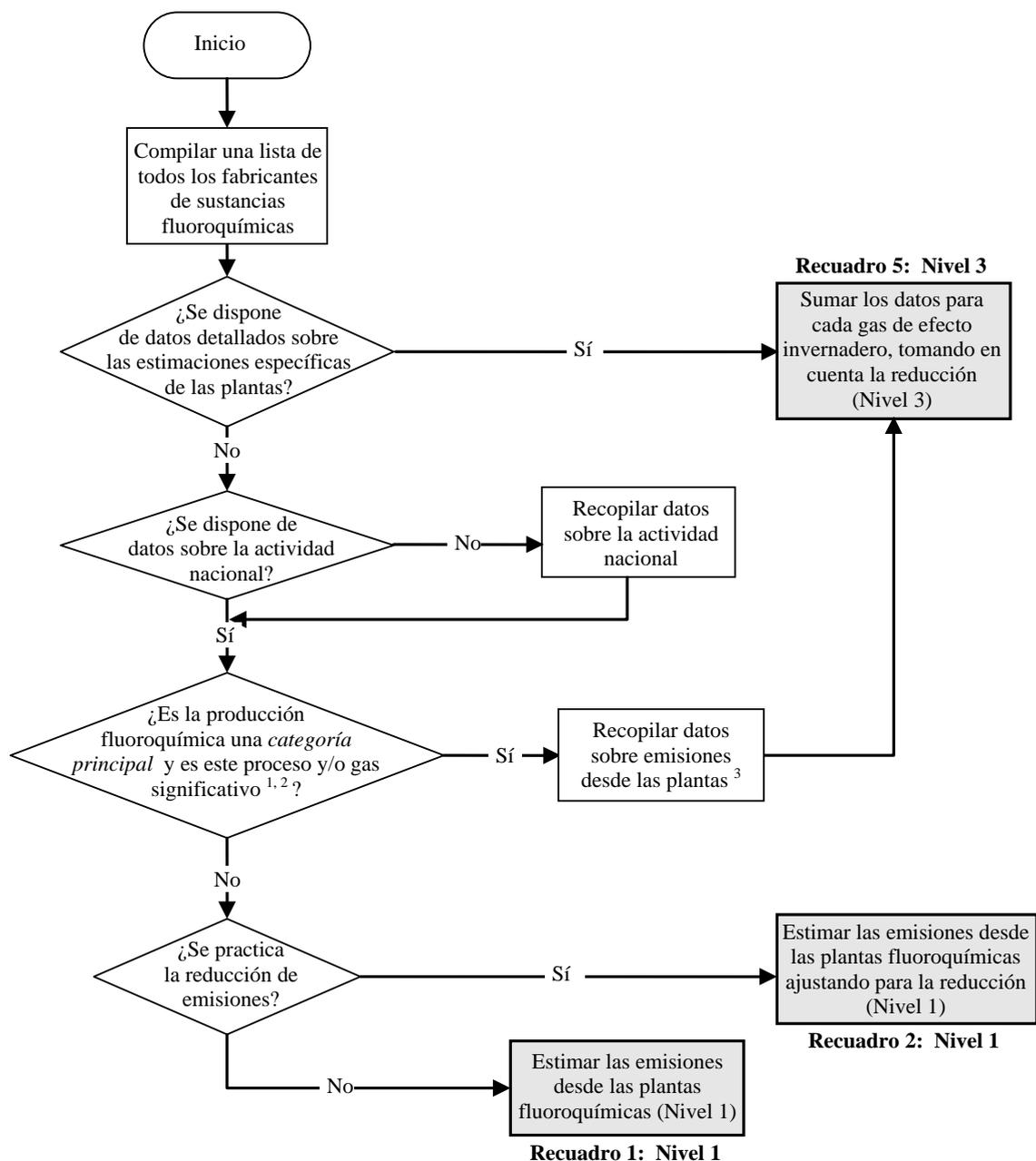
ELECCIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN

El método de Nivel 3 depende de las mediciones de las cantidades de materiales individuales que se liberan hacia la atmósfera ni el método de Nivel 2 ni el de Nivel 3 dependen de los factores de emisión. Para el Nivel 1, en ausencia de medidas de reducción, para el HFC y el PFC se sugiere un factor de emisión por defecto de 0,5 por ciento de la producción, sin contar las pérdidas en el transporte y la transferencia de materiales, basándose en datos suministrados a la AFEAS (2004). Existe un amplio abanico de sustancias que pueden ser liberadas potencialmente. Sin embargo, los datos de la AFEAS han mostrado que los componentes que se pierden en la producción de una sustancia fluoroquímica particular, tienen, en general, propiedades de forzamiento radiativo similares a las de la sustancia fluoroquímica deseada. En consecuencia, para las fuentes que no son subcategorías significativas bajo la *categoría principal*, las emisiones fugitivas y las emisiones de productos derivados son las mismas y están incluidas en el factor de emisión de 0,5 por ciento.

En el caso del SF₆, basándose en la experiencia alemana, se sugiere un factor de emisión por defecto de 0,2 por ciento de la cantidad total de SF₆ producido, para los países donde el uso final predominante no exige un gas SF₆ altamente purificado (p. ej., equipos eléctricos, ventanas aisladas) (Preisegger, 1999). Basándose en la experiencia del Japón, en los países donde los usos principales requieren de gas SF₆ altamente purificado (p. ej., fabricación de semiconductores), el valor por defecto debe ser de 8 por ciento, debido a las pérdidas por manipulación durante la eliminación del gas residual (es decir, el «resto» que no se usa ni se recicla) en los cilindros devueltos (Suizu, 1999). Si se dispone de datos nacionales, se los debe usar, en particular para otros materiales que no estén específicamente enumerados aquí.

Los factores de emisión por defecto se basan en situaciones en las que no se han aplicado medidas de reducción. Si la cantidad de gas emitido hacia la atmósfera es reducido por oxidación térmica de la corriente de venteo, por ejemplo, la cantidad emitida debe ajustarse para dar cuenta de la eficiencia de destrucción del oxidante y de la extensión del periodo en que la reducción está en servicio. Sobre la base de la experiencia sobre la destrucción del HFC-23, se sugiere una eficiencia de destrucción de 100 por ciento, pero el tiempo efectivo de operación del proceso de destrucción ejercerá un efecto mayor sobre las emisiones y debe ser registrado.

Figura 3.17 **Árbol de decisión para las emisiones de gases fluorados de efecto invernadero provenientes de los procesos de producción, aplicable tanto a las emisiones fugitivas como a las de los productos derivados**



Nota

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).
2. En este punto se puede usar la metodología de Nivel 2 para determinar si ésta es o no una categoría principal, pero, como se explica en la Sección 3.10.2.2, ésta es la única utilización del Nivel 2.
3. Los datos pueden recopilarse bajo la forma de un estudio realizado para el país por terceros, con el fin de preservar la confidencialidad.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

También aquí, los datos de la actividad no inciden en las estimaciones de Nivel 3 ni de Nivel 2, las cuales se basan en mediciones. Para el Nivel 1, la actividad corresponde a la masa anual de la sustancia fluorquímica deseada que se produce.

Reciclado

El reciclado de los gases usados puede efectuarse por los productores de gas nuevo o por otras compañías de reciclado. Las emisiones pueden ocurrir durante el manejo y la purificación de gas viejo y la manipulación del

gas reciclado. No se dispone de factores de emisión específicos. Por esto, la *buena práctica* consiste en utilizar el mismo factor por defecto que para una producción nueva.

EXHAUSTIVIDAD

Para algunos compiladores de inventarios, la identificación de los pequeños productores y en particular, de las compañías de reciclado, puede ser una tarea difícil. Sin embargo, las estimaciones iniciales basadas en el balance de masas nacional de masas de estos gases fluorados de efecto invernadero deberían revelar si las emisiones relacionadas con la producción de estas entidades constituyen una contribución considerable al total de las emisiones nacionales.

DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Tanto las emisiones fugitivas como las de los productos derivados de los compuestos fluorados deben estimarse utilizando el mismo método para toda la serie temporal, así como los factores de emisión apropiados. Si no se dispone de datos de Nivel 3 para cualquiera de los años de una serie temporal, estas lagunas deben completarse según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

3.10.2.3 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

Para el Nivel 1, la incertidumbre en los datos de la actividad debe determinarse para el país declarante y combinarse estadísticamente con la incertidumbre del factor de emisión por defecto. Típicamente, en una planta bien operada, la incertidumbre por defecto asociada a los datos de la actividad debería ser cercana al 1 por ciento, suponiendo que se mantienen registros contables rigurosos y que la producción se monitorea por peso. El factor de emisión real puede situarse en un punto del intervalo bien superior al valor por defecto y descender hasta cero. La incertidumbre por defecto de los factores de emisión por defecto se fija, por lo tanto, en 100 por ciento, por ejemplo, $0,5 \pm 0,5$ (%).

Para las emisiones del Nivel 3, la incertidumbre de las mediciones deben determinarse individualmente y combinarse (mediante métodos estadísticos estándar) para proporcionar una incertidumbre total para la estimación. La metodología es idéntica a la descrita para el HFC-23 del HCFC-22. En la metodología de Nivel 2, debe evaluarse la incertidumbre tanto de las mediciones de las eficiencias como de la atribución de pérdidas a los componentes individuales. Debido a que éstas son responsables de una incertidumbre mucho mayor que la del Nivel 3, es probable que la utilidad del Nivel 2 sea limitada para evaluar si las emisiones de los productos fluoroquímicos derivados constituyen o no una subcategoría significativa bajo la *categoría principal*.

3.10.2.4 GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD (GC/CC), GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, Capítulo 6 y procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones provenientes de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Comparación de las estimaciones de emisiones con diferentes métodos

Los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones basadas en datos agregados al nivel del productor con las estimaciones basadas en datos sobre producción nacional y los factores de emisión por defecto sugeridos. Deben investigar las discrepancias significativas en colaboración con los productores para determinar si existen diferencias inexplicadas.

GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Cuando hay un número limitado de productores pueden surgir problemas de confidencialidad. En estos casos puede ser necesario efectuar declaraciones más agregadas sobre el total de las emisiones nacionales. Si las respuestas a las encuestas no pueden revelarse como información pública, para contribuir a los esfuerzos de verificación de los datos puede ser necesaria una revisión de los datos de censo realizada por terceros.

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir

resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

Referencias

SECCIONES 3.2 – 3.8

- Ashford, R.D. (1994). *Ashford's Dictionary of Industrial Chemicals*, Wavelength Publications Ltd, London England.
- Austin, G.T. (1984). *Shreve's Chemical Process Industries*, Fifth Edition, McGraw-Hill, Inc., USA.
- Babusiaux, P. (2005). Note on production of Glioxal and Glioxylic acid, Clariant, Lamotte, France.
- Bockman, O. and Granli, T. (1994). 'Nitrous oxide from agriculture'. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, Supplement No. 12. Norsk Hydro Research Centre, Porsgrunn, Norway.
- Bouwman, A.F., van der Hoek, K.W. and Olivier, J.G.J. (1995). 'Uncertainties in the global source distribution of nitrous oxide'. *Journal of Geophysical Research*, 100:D2, pp. 2785-2800, February 20, 1995.
- Burtscher, K. (1999). Personal communication between Kurt Burtscher of Federal Environment Agency of Austria and plant operator of chemical industry in Linz, Austria, 1999.
- Chemlink (1997). Website <http://www.chemlink.com.au/titanium.htm>. Chemlink Pty Ltd ACN 007 034 022. Publications 1997.
- Choe J.S., Gook, P.J. and Petrocelli, F.P. (1993). Developing N₂O abatement technology for the nitric acid industry. Paper presented at the 1993 ANPSG Conference, Destin, Florida, USA, 6 October, 1993.
- Cook, P. (1999). Personal communication between Phillip Cook of Air Products and Chemicals, Inc., USA, and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. March 5, 1999.
- Cotton, F.A. and Wilkinson, G. (1988). *Advanced Inorganic Chemistry*, 5th Edition, ISBN 0-471-84997-9. Wiley, New York, USA.
- de Beer, J., Phylipsen, D. and Bates, J. (2001). Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change: Economic Evaluation of Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Emission Reductions in Industry in the EU – Bottom-up Analysis, Contribution to a Study for DG Environment, European Commission by Ecofys Energy and Environment, AEA Technology Environment and National Technical University of Athens.
- Environment Canada (1987). Review of the Canadian Fertiliser Industry and Evaluation of Control Technology, Conservation and Protection Report EPS 2/AG/1.
- EFMA (2000a). European Fertilizer Manufacturers' Association, Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry: Production of Ammonia, Booklet No. 1 of 8, European Fertilizer Manufacturers' Association, Brussels.
- EFMA (2000b). European Fertilizer Manufacturers' Association, Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry: Production of Nitric Acid, Booklet No. 2 of 8, European Fertilizer Manufacturers' Association, Brussels.
- EFMA (2000c). European Fertilizer Manufacturers' Association, Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry: Production of Urea and Urea Ammonium Nitrate, Booklet No. 5 of 8, European Fertilizer Manufacturers' Association, Brussels.
- EIPPCB (2004a). European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Inorganic Chemicals, Ammonia, Acids and Fertilisers Industries, Draft March 2004, European Commission Directorate General JRC, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Spain.
- EIPPCB (2004b). European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Inorganic Chemicals-Solid and Others Industry, Draft August 2004, European Commission Directorate General JRC, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Spain.
- Hocking, M. B. (1998). *Handbook of Chemical Technology and Pollution Control*, Academic Press USA.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- Japan Environment Agency (1995). Study of Emission Factors for N₂O from Stationary Sources.

- Kirk-Othmer (1999). Concise Encyclopedia of Chemical Technology, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Lowenheim, F.A. and Moran, M.K. (1975). Faith, Keyes, and Clark's Industrial Chemicals, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Olivier, J. (1999). Personal communication between Jos Olivier of National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), The Netherlands and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. February 2, 1999.
- Olsen, S.E. (1991). Kalsiumkarbid og CO₂, STF34 A91142. SINTEF.
- Perez-Ramirez, J., Kapteijn, F., Shoffel, K. and Moulijn, J. A. (2003). 'Formation and control of N₂O in nitric acid production: Where do we stand today?', *Applied Catalysis B: Environmental* 44, pp.117-131, Elsevier Science B.V.
- Raanes, O. (1991). Silisiumkarbid og CO₂, STF34 A91134. SINTEF 1991.
- Reimer, R.A., Slaten, C.S., Seapan, M., Koch, T.A. and Triner, V.G. (1999). 'Implementation of Technologies for Abatement of N₂O Emissions Associated with Adipic Acid Manufacture. Proceedings of the 2nd Symposium on Non-CO₂ Greenhouse Gases (NCGG-2), Noordwijkerhout, The Netherlands, 8-10 Sept. 1999, Ed. J. van Ham *et al.*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 347-358.
- Reimer, R., (1999a). Personal communication between Ron Reimer of DuPont, USA and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. February 8, 1999.
- Reimer, R., (1999b). Personal communication between Ron Reimer of DuPont, USA and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. May 19, 1999.
- Reimschuessel, H. K. (1977). 'Nylon 6 Chemistry and Mechanisms', *Journal of Polymer Science: Macromolecular Reviews*, Vol. 12, 65-139, John Wiley & Sons, Inc.
- Scott, A. (1998). 'The winners and losers of N₂O emission control'. *Chemical Week*, February 18, 1998.
- Thiemens, M.H. and Trogler, W.C. (1991). 'Nylon production; an unknown source of atmospheric nitrous oxide'. *Science*, 251, pp. 932-934.
- U.S. EPA (1985). Criteria Pollutant Emissions Factors. Volume 1, Stationary Point and Area Sources. AP-42 4th Edition (and Supplements A and B). U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, USA.
- van Balken, J.A.M. (2005). Personal communication from J.A.M. van Balken (European Fertilizer Manufacturers Association).

SECCIÓN 3.9

- AGO (2005). Australian Methodology for the Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks 2003: Industrial Processes, Australian Government, Department of the Environment and Heritage, Australian Greenhouse Gas Office, 2005, Table 4, Page 18.
- BASF (2006). Personal Communication from Silke Schmidt, BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen, Germany to Robert Lanza, ICF Consulting, Inc., Washington, DC, USA, January 9, 2006.
- Boustead, I. (1999). Eco-Profiles of Plastics and Related Intermediates, published by APME, Brussels, 1999.
- Boustead, I. (2003a). Eco-Profiles of the European Plastics Industry: Olefins. A Report for the European Association of Plastics Manufacturers (APME), Brussels, July 2003, Table 7, Page 9. http://www.apme.org/dashboard/business_layer/template.asp?url=http://www.apme.org/media/public_documents/20030820_114355/olefinsreport_july2003.pdf&title=Microsoft+Word+%2D+olefins%2Edoc&k&keuze1=&keuze2=&keuze3=&invulstrook=olefin+AND+eco%2Dprofile
- Boustead, I. (2003b). Eco-Profiles of the European Plastics Industry, Methodology: A Report for APME, Brussels, July 2003. http://www.apme.org/media/public_documents/20010817_141031/method.pdf
- Boustead, I. (2005). ETHYLENE DICHLORIDE: A report by I Boustead for The European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope, March 2005.
- DOE (2000). Energy and Environmental Profile of the U.S. Chemical Industry, U.S. Department of Energy Office of Industrial Technologies, May 2000, Section 3.1.4, Page 92.
- DSM (2002). DSM Responsible Care Progress Report 2001; Safety, Health and Environmental Management at DSM, 2002

- EEA (2005). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook – 2005, European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site see: <http://reports.eea.eu.int/EMEP/CORINAIR4/en>
- European IPPC Bureau (2005). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Inorganic Chemicals (LVIC) – Solid and Others Industry, EK/EIPPCB/LVIC-S_Draft_2, Draft, June 2005. <http://eippcb.jrc.es/pages/FAactivities.htm>
- European IPPC Bureau (2003). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical (LVOC) Industry, February 2003. <http://eippcb.jrc.es/pages/FAactivities.htm>
- FgH-ISI (1999). Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung. C-Ströme Abschätzung der Material –Energie und CO₂ Ströme für Modellsysteme in Zusammenhang mit dem nichtenergetischen Verbrauch, orientiert am Lebensweg – Stand und Szenarienbetrachtung, Karlsruhe, 1999. Cited in Neelis, M; Patel, M; de Feber, M; 2003. Improvement of CO₂ Emissions Estimates from the Non-energy Use of Fossil Fuels in the Netherlands. Report Number NW&S-E-2003-10, Copernicus Institute, Department of Science, Technology, and Society, Utrecht, The Netherlands, April 2003
- Hinderink, *et al.* (1996). Exergy Analysis with Flowsheeting Simulator – II Application Synthesis Gas Production from Natural Gas, Chemical Engineering Science, Volume 51, No. 20, Page 4701-4715, 1996. Cited in Neelis, M; Patel, M; de Feber, M; 2003. Improvement of CO₂ Emissions Estimates from the Non-energy Use of Fossil Fuels in the Netherlands. Report Number NW&S-E-2003-10, Copernicus Institute, Department of Science, Technology, and Society, Utrecht, The Netherlands, April 2003
- Houdek, J.M., Andersen, J. (2005). “On Purpose“ Propylene – Technology Developments, UOP LLC. Presented at the ARTC 8th Annual Meeting, Kuala Lumpur, April 29, 2005, Figure 1, Page 3 and Page 4.
- Kirk Othmer (1992). Encyclopedia of Chemical Technology, 4th Edition, Volume 4, 1992. Carbon Black. Page 1054.
- Lurgi (2004a). Lurgi Mega Methanol. Lurgi Oel-Gas-Chemie
- Lurgi (2004b). Integrated Low Pressure Methanol Process: Synthesis Gas Production by Combined Reforming of Natural Gas or Oil Associated Gas. Lurgi Oel-Gas-Chemie. http://www.lurgi-oel.de/lurgi_oel/english/nbsp/main/info/methanol_combined_reforming.pdf
- Lurgi (2004c). Integrated Low Pressure Methanol Process: Synthesis Gas Production by Conventional Steam Reforming of Natural Gas or Oil Associated Gas. Lurgi Oel-Gas-Chemie. http://www.lurgi-oel.de/lurgi_oel/english/nbsp/main/info/methanol_conventional_reforming.pdf
- Methanex (1996). Methanex Corporation Climate Change Voluntary Challenge and Registry Program Action Plan, September 1996. <http://www.vcr-mvr.ca/registry/out/C969-METHANEX-W52.PDF>
- Methanex (2003). Global Environmental Excellence Report 2002, Methanex Corporation, 2003
- Neelis, M., Patel, M. and de Feber, M. (2003). Improvement of CO₂ Emissions Estimates from the Non-energy Use of Fossil Fuels in the Netherlands, Report Number NW&S-E-2003-10, Copernicus Institute, Department of Science, Technology, and Society, Utrecht, The Netherlands, April 2003.
- Qenos (2003). Annual Report on Manufacturing Operations at Qenos Olefins, Plastics, Resins, and Elastomers Sites to Altona Complex Neighborhood Consultative Group, April 2003, Qenos Pty. Ltd.
- Qenos (2005). 2004 Annual Report on Manufacturing Operations at Qenos Olefins, Plastics, Resins, and Elastomers Sites to Altona Complex Neighborhood Consultative Group, April 2005, Qenos Pty. Ltd.
- SFT (2003a). Self-reporting of emissions to the Norwegian Pollution Control Authority based on direct measurements at Statoil Tjeldbergodden Methanol Plant. (In Norwegian).
- SFT (2003b). Self-reporting of emissions to the Norwegian Pollution Control Authority based on direct measurements at Nordetyl ethylene Plant. (In Norwegian).
- Struker, A. and Blok, K. (1995). Sectorstudie organische chemie, National Energy Efficiency Data Informatie Systeem (NEEDIS), Patten, December 1995. Cited in Neelis, M; Patel, M; de Feber, M; 2003. Improvement of CO₂ Emissions Estimates from the Non-energy Use of Fossil Fuels in the Netherlands, Report Number NW&S-E-2003-10, Copernicus Institute, Department of Science, Technology, and Society, Utrecht, The Netherlands, April 2003

SECCIÓN 3.10.1

- Defra (2002a). Protocol C1: Measurement of HFCs and PFCs from the Manufacture of HF, CTF, HCFC-22, HFC-125 and HFC-134a, in *Guidelines for the Measurement and Reporting of Emissions by Direct Participants in the UK Emissions Trading Scheme*, UK Department for Environment, Food and Rural Affairs, Report No. UKETS(01)05rev1, Defra, London, 2002.
- Defra (2002b). Protocol C9: Measurement of HFCs and PFCs from Chemical Process Operations, UK Department for Environment, Food and Rural Affairs, *as above*, London, 2002.
- EFCTC (2003). *Protocol for the Measurement of HFC and PFC Greenhouse Gas Emissions from Chemical Process Operations*, Standard Methodology, European Fluorocarbon Technical Committee, Cefic, Brussels, 2003.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- McCulloch A. (1992). Global Production and Emissions of Bromochlorodifluoromethane and Bromotrifluoromethane (Halons 1211 and 1301), *Atmos. Environ.*, 26A(7), 1325-1329.
- Oram D.E., Sturges, W.T., Penkett, S.A., McCulloch, A. and Fraser, P.J. (1998). Growth of fluoroform (CHF₃, HFC-23) in the background atmosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 25(1), 35-38.
- RTI, Cadmus, (1998). 'Performance Standards for Determining Emissions of HFC-23 from the Production of HCFC-22', *draft final report* prepared for USEPA, February 1998.
- UN (2004). Approved baseline methodology, 'Incineration of HFC 23 waste streams', AM0001/Version 02, CDM – Executive Board, United Nations Framework Convention on Climate Change, 7 April 2004
- U.S. EPA (2001). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-1999. United States Environmental Protection Agency, Report No. EPA 236-R-01-001, Washington, U.S.A., 2001.

SECCIÓN 3.10.2

- AFEAS (2004). *Production, Sales and Estimated Atmospheric Emissions of CFCs, HCFCs and HFCs*, Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study, Arlington, U.S.A., 2004. Available at www.afeas.org.
- Preisegger, E. (1999). Statement on experiences of Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover, Germany regarding an emission factor at the IPCC expert group meeting on *Good practice* in Inventory Preparation, Washington D.C. Jan, 1999.
- Suizu, T. (1999). Partnership activities for SF₆ gas emission reduction from gas insulated electrical equipment in Japan. *Proc. Joint IPCC/TEAP Expert Meeting on Options for the Limitation of Emissions of HFCs and PFCs*, Petten, Netherlands, 26-28 May 1999. ECN, Petten.
- UNFCCC (2005). Belgium's Greenhouse Gas Inventory (1990-2003), National Inventory Report 2005, submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change, April 2005. http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/2761.php.

CAPÍTULO 4

EMISIONES DE LA INDUSTRIA DE LOS METALES

Autores

Sección 4.1

Jerry Marks (Estados Unidos)

Sección 4.2

Jonathan Lubetsky (Estados Unidos) y Bruce A. Steiner (Estados Unidos)

Sección 4.3

Tor Faerden (Noruega), Jonathan S. Lubetsky (Estados Unidos), Tor Lindstad (Noruega), Sverre E. Olsen (Noruega) y Gabriella Tranell (Noruega)

Sección 4.4

Jerry Marks (Estados Unidos), William Kojo Agyemang-Bonsu (República de Gana), Mauricio Firmento Born (Brasil), Laurel Green (Australia), Halvor Kvande (Noruega), Kenneth Martchek (Estados Unidos) y Sally Rand (Estados Unidos)

Sección 4.5

Gabriella Tranell (Noruega) y Tom Tripp (Estados Unidos)

Sección 4.6

Jonathan S. Lubetsky (Estados Unidos) y Jerry Marks (Estados Unidos)

Sección 4.7

Jonathan S. Lubetsky (Estados Unidos)

Autores colaboradores

Sección 4.2

Robert Lanza (Estados Unidos)

Sección 4.4

Vince Van Son (Estados Unidos), Pablo Alonso (Francia), Ron Knapp (Australia), Stéphane Gauthier (Canadá), Michel Lalonde (Canadá), Hézio Ávila de Oliveira (Brasil) y Chris Bayliss (Reino Unido)

Índice

4	Emisiones de la industria de los metales	4.9
4.1	Introducción	4.9
4.2	Producción de hierro y acero y de coque metalúrgico	4.10
4.2.1	Introducción.....	4.12
4.2.2	Cuestiones metodológicas	4.18
4.2.2.1	Elección del método: Producción de coque metalúrgico	4.18
4.2.2.2	Elección del método: producción de hierro y acero.....	4.20
4.2.2.3	Elección de los factores de emisión	4.26
4.2.2.4	Elección de los datos de la actividad	4.30
4.2.2.5	Exhaustividad	4.31
4.2.2.6	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	4.32
4.2.3	Evaluación de incertidumbre	4.33
4.2.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	4.33
4.2.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	4.33
4.2.4.2	Generación de informes y documentación.....	4.34
4.3	Producción de ferroaleaciones	4.36
4.3.1	Introducción.....	4.36
4.3.2	Cuestiones metodológicas	4.36
4.3.2.1	Elección del método	4.36
4.3.2.2	Elección de los factores de emisión	4.41
4.3.2.3	Elección de los datos de la actividad	4.44
4.3.2.4	Exhaustividad	4.44
4.3.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	4.44
4.3.3	Evaluación de la incertidumbre	4.44
4.3.3.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	4.44
4.3.3.2	Incertidumbres en los datos de la actividad	4.45
4.3.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	4.45
4.3.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	4.45
4.3.4.2	Generación de informes y documentación.....	4.46
4.4	Producción primaria del aluminio	4.47
4.4.1	Introducción.....	4.47
4.4.2	Cuestiones metodológicas	4.47
4.4.2.1	Elección del método para las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción primaria de aluminio	4.47
4.4.2.2	Elección de los factores de emisión para las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de aluminio primario.....	4.51

4.4.2.3	Elección del método para los PFC.....	4.54
4.4.2.4	Elección de los factores de emisión para los PFC	4.58
4.4.2.5	Elección de los datos de la actividad	4.60
4.4.2.6	Exhaustividad	4.61
4.4.2.7	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	4.61
4.4.3	Evaluación de incertidumbre.....	4.61
4.4.3.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	4.62
4.4.3.2	Incertidumbres en los datos de la actividad	4.62
4.4.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	4.63
4.4.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	4.63
4.4.4.2	Generación de informes y documentación.....	4.63
4.5	Producción de magnesio	4.65
4.5.1	Introducción.....	4.65
4.5.2	Cuestiones metodológicas	4.67
4.5.2.1	Elección del método	4.67
4.5.2.2	Elección de los factores de emisión.....	4.72
4.5.2.3	Elección de los datos de la actividad	4.74
4.5.2.4	Exhaustividad	4.74
4.5.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	4.75
4.5.3	Evaluación de incertidumbre.....	4.75
4.5.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	4.76
4.5.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	4.76
4.5.4.2	Generación de informes y documentación.....	4.77
4.6	Producción de plomo	4.79
4.6.1	Introducción.....	4.79
4.6.2	Cuestiones metodológicas	4.79
4.6.2.1	Elección del método	4.79
4.6.2.2	Elección de los factores de emisión.....	4.81
4.6.2.3	Elección de los datos de la actividad	4.83
4.6.2.4	Exhaustividad	4.83
4.6.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	4.83
4.6.3	Evaluación de incertidumbre.....	4.83
4.6.3.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	4.84
4.6.3.2	Incertidumbres en los datos de la actividad	4.84
4.6.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	4.84
4.6.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	4.84
4.6.4.2	Generación de informes y documentación.....	4.85
4.7	Producción de Cinc	4.86
4.7.1	Introducción.....	4.86

4.7.2	Cuestiones metodológicas	4.86
4.7.2.1	Elección del método	4.86
4.7.2.2	Elección de los factores de emisión	4.88
4.7.2.3	Elección de los datos de la actividad	4.88
4.7.2.4	Exhaustividad	4.90
4.7.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	4.90
4.7.3	Evaluación de incertidumbre	4.90
4.7.3.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	4.90
4.7.3.2	Incertidumbres en los datos de la actividad	4.90
4.7.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	4.91
4.7.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	4.91
4.7.4.2	Generación de informes y documentación.....	4.91
Referencias	.....	4.93

Ecuaciones

Ecuación 4.1	Emisiones provenientes de la producción de coque (Nivel 1)	4.18
Ecuación 4.2	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción local de coque (Nivel 2)	4.19
Ecuación 4.3	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de coque fuera del sitio (Nivel 2)	4.19
Ecuación 4.4	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de hierro y acero (Nivel 1)	4.22
Ecuación 4.5	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de arrabio no procesado en acero (Nivel 1).....	4.23
Ecuación 4.6	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de hierro reducido directo (Nivel 1)	4.23
Ecuación 4.7	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de sinterizado (Nivel 1).....	4.23
Ecuación 4.8	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de pelets (Nivel 1).....	4.23
Ecuación 4.9	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de hierro y acero (Nivel 2)	4.24
Ecuación 4.10	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de sinterizado (Nivel 2).....	4.24
Ecuación 4.11	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de hierro reducido directo (Nivel 2).....	4.25
Ecuación 4.12	Emisiones de CH ₄ provenientes de la producción de sinterizado (Nivel 1).....	4.26
Ecuación 4.13	Emisiones de CH ₄ provenientes de la producción de arrabio en los altos hornos (Nivel 1) ..	4.26
Ecuación 4.14	Emisiones de CH ₄ provenientes de la producción de hierro reducido directo (Nivel 1).....	4.26
Ecuación 4.15	Emisiones de CO ₂ para la producción de ferroaleaciones por el método de Nivel 1	4.37
Ecuación 4.16	Emisiones de CO ₂ para la producción de ferroaleaciones por el método de Nivel 2	4.37
Ecuación 4.17	Emisiones de CO ₂ para la producción de ferroaleaciones por el método de Nivel 3	4.38
Ecuación 4.18	Emisiones de CH ₄ para la producción de ferroaleaciones por el método de Nivel 1	4.41
Ecuación 4.19	Contenido de carbono de los agentes reductores de ferroaleaciones	4.42
Ecuación 4.20	Emisiones de CO ₂ de proceso del consumo de ánodos y/o pasta de ánodos (metodo de Nivel 1)	4.49
Ecuación 4.21	Emisiones de CO ₂ provenientes del consumo de ánodos precocidos (metodos de Nivel 2 y Nivel 3).....	4.49
Ecuación 4.22	Emisiones de CO ₂ provenientes de la combustión de volátiles de brea (métodos de Nivel 2 y Nivel 3).....	4.50

Ecuación 4.23	Emisiones de CO ₂ provenientes del material de compactado de los hornos de precocido (métodos de Nivel 2 y Nivel 3).....	4.50
Ecuación 4.24	Emisiones de CO ₂ provenientes del consumo de pasta de ánodos (metodos de Nivel 2 y Nivel 3).....	4.51
Ecuación 4.25	Emisiones de PFC (método de Nivel 1).....	4.56
Ecuación 4.26	Emisiones de PFC por el método de la pendiente (metodos de Nivel 2 y Nivel 3).....	4.56
Ecuación 4.27	Emisiones de PFC por el método de la sobre tensión (metodos de Nivel 2 y Nivel 3).....	4.57
Ecuación 4.28	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de magnesio primario (Nivel 1)	4.67
Ecuación 4.29	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de magnesio primario (Nivel 2)	4.68
Ecuación 4.30	Emisiones de SF ₆ provenientes del moldeo del magnesio (Nivel 1).....	4.68
Ecuación 4.31	Emisiones de SF ₆ provenientes del moldeo del magnesio (Nivel 2).....	4.69
Ecuación 4.32	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de plomo.....	4.80
Ecuación 4.33	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de cinc (Nivel 1).....	4.87
Ecuación 4.34	Emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de cinc (Nivel 1).....	4.87

Figuras

Figura 4.1	Ilustración de los procesos principales de producción integrada de hierro y acero*	4.11
Figura 4.2	Ilustración del proceso de producción del coque (emisiones declaradas en la Categoría 1A del Sector Energía)	4.14
Figura 4.3	Ilustración del proceso de producción de sinterizado.....	4.15
Figura 4.4	Ilustración del proceso de producción de arrabio.....	4.16
Figura 4.5	Ilustración del proceso de producción de acero.....	4.17
Figure 4.6	Estimación de las emisiones de CO ₂ generadas por la producción de coque metalúrgico	4.20
Figura 4.7	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de hierro y acero	4.21
Figura 4.8	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CH ₄ provenientes de la producción de hierro y acero	4.22
Figura 4.9	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de ferroaleaciones.....	4.39
Figura 4.10	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CH ₄ provenientes de la producción de aleaciones de FeSi y Si	4.40
Figura 4.11	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de aluminio primario	4.48
Figura 4.12	Árbol de decisión para el cálculo de las emisiones de PFC provenientes de la producción de aluminio primario	4.58
Figura 4.13	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la calcinación de las materias primas en el proceso de producción del magnesio.....	4.70
Figura 4.14	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de SF ₆ provenientes del procesamiento del magnesio	4.71
Figura 4.15	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO ₂ provenientes de la producción de plomo	4.80

Figura 4.16 Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cinc 4.89

Cuadros

Cuadro 4.1 Factores por defecto de emisión de CO₂ de Nivel 1 para la producción de coque y de hierro y acero..... 4.27

Cuadro 4.2 Factores por defecto de emisión de CH₄ de Nivel 1 para la producción de coque y de hierro y acero 4.29

Cuadro 4.3 Contenido de carbono específico de los materiales para el Nivel 2 en la producción de hierro y acero y de coque 4.29

Cuadro 4.4 Intervalos de incertidumbre 4.33

Cuadro 4.5 Factores genéricos de emisión de CO₂ para la producción de ferroaleaciones 4.41

Cuadro 4.6 Factores de emisión de CO₂ para la producción de ferroaleaciones 4.42

Cuadro 4.7 Factores de emisión por defecto para el CH₄ 4.43

Cuadro 4.8 Factores de emisión para el CH₄ 4.43

Cuadro 4.9 Intervalos de incertidumbre 4.45

Cuadro 4.10 Factores de emisión de Nivel 1 específicos de la tecnología para calcular las emisiones de dióxido de carbono generadas por el consumo de ánodos o de pasta de ánodos 4.52

Cuadro 4.11 Fuentes de los datos e incertidumbres para los parámetros utilizados en los métodos de Nivel 2 o 3 para las emisiones de CO₂ de las celdas de ánodos precocidos 4.52

Cuadro 4.12 Fuentes de los datos e incertidumbres para los parámetros utilizados en los métodos de Nivel 2 o 3 para las emisiones de CO₂ generadas por la combustión de volátiles de breá 4.53

Cuadro 4.13 Fuentes de los datos e incertidumbres para los parámetros utilizados en los métodos de Nivel 2 o 3 para las emisiones de CO₂ generadas por el material de compactado del horno de precocido 4.53

Cuadro 4.14 Fuentes de los datos e incertidumbres para los parámetros utilizados en los métodos de Nivel 2 o 3 para las emisiones de CO₂ generadas por las celdas Söderberg..... 4.54

Cuadro 4.15 Factores de emisión por defecto e intervalos de incertidumbre para el cálculo de las emisiones de PFC generadas por la producción de aluminio por tipo de tecnología de celda (método de Nivel 1)..... 4.59

Cuadro 4.16 Coeficientes de pendiente y de sobre tensión específicos de la tecnología para el cálculo de las emisiones de PFC generadas por la producción de aluminio (método de Nivel 2) 4.60

Cuadro 4.17 Información declarativa de *buena práctica* para las emisiones de CO₂ y PFC de la producción de aluminio, por Nivel 4.64

Cuadro 4.18 Posibles emisiones de GEI relacionadas con la producción y el procesamiento del magnesio ... 4.65

Cuadro 4.19 Factores de emisión para la producción de metal Mg primario específicas de los minerales..... 4.72

Cuadro 4.20 Factores de emisión de SF₆ para los procesos de moldeo del magnesio (Nivel 1) 4.73

Cuadro 4.21 Factores genéricos de emisión de CO₂ para la producción de plomo por fuente y tipo de horno..... 4.82

Cuadro 4.22 Contenido de carbono específico de los materiales para la producción de plomo 4.82

Cuadro 4.23 Intervalos de incertidumbre 4.84

Cuadro 4.24 Factores de emisión de CO₂ de Nivel 1 para la producción de cinc 4.88

Cuadro 4.25 Intervalos de incertidumbre 4.90

Recuadros

Recuadro 4.1 Definiciones de los términos y/o símbolos utilizados en las ecuaciones de esta sección	4.37
Recuadro 4.2 Descripción del efecto anódico.....	4.54

4 EMISIONES DE LA INDUSTRIA DE LOS METALES

4.1 INTRODUCCIÓN

Las siguientes Secciones 4.2 hasta 4.7 ofrecen orientaciones para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero que resultan de la producción de los metales.

- La Sección 4.2 cubre las emisiones de la producción de hierro y acero, así como la del coque metalúrgico;
- La Sección 4.3 cubre las emisiones de la producción de ferroleaciones;
- La Sección 4.4 cubre las emisiones de la producción de aluminio;
- La Sección 4.5 cubre las emisiones de la producción de magnesio;
- La Sección 4.6 cubre las emisiones de la producción de plomo;
- La Sección 4.7 cubre las emisiones de la producción de cinc.

Tanto en este capítulo como en el Volumen 2 sobre el Sector Energía, hay que cuidar de no efectuar cálculos dobles ni omitir emisiones de dióxido de carbono (CO₂) pues las emisiones de CO₂ que resultan de la función del carbono, tanto como reactivo en los procesos y como fuente de calor para sostener las reacciones químicas involucradas en los procesos metalúrgicos, están estrechamente relacionadas en muchos casos. En los casos en los que en una planta de producción de metales haya tecnologías de captura instaladas, el CO₂ capturado debe restarse del cálculo de emisiones de nivel superior. En toda metodología que tome en cuenta la captura de CO₂, debe considerarse que las emisiones del CO₂ capturado en el proceso pueden estar relacionadas, tanto con la combustión como con el proceso. En los casos en los que las emisiones debidas a la combustión y al proceso deban declararse por separado, como en el caso de la producción del hierro y del acero, los compiladores del inventario deben garantizar que las mismas cantidades de CO₂ no sean contabilizadas por partida doble. En estos casos, la cantidad total de CO₂ capturado debe declararse preferentemente en las categorías correspondientes de combustión de energía y de fuente IPPU, en proporción con las cantidades de CO₂ generado en cada categoría de fuente. La hipótesis por defecto es que no hay captura ni almacenamiento (CCS) de CO₂. Para más información sobre la captura y el almacenamiento de CO₂ refiérase al Volumen 3, Sección 1.2.2 y para mayores detalles, al Volumen 2, Sección 2.3.4.

4.2 PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO Y DE COQUE METALÚRGICO

La producción de hierro y acero conduce a emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), y óxido nitroso (N₂O). En este capítulo se presentan una orientación para estimar las emisiones de CO₂ y CH₄.¹

A grandes rasgos, la industria del hierro y del acero está constituida por:

- Instalaciones principales que producen, a la vez, hierro y acero;
- Instalaciones secundarias de fabricación de acero;
- Plantas de producción de hierro; y
- Producción de coque metalúrgico fuera de la instalación;

La Figura 4.1 ilustra el proceso principal de producción de hierro y acero: producción de coque metalúrgico, de sinterizado, de pelets, procesamiento del mineral de hierro, fabricación de hierro, de acero, moldeo del acero y, muy a menudo, la combustión de gases de alto horno y de horno de coque para otros propósitos. El proceso principal puede desarrollarse en lo que se denomina una instalación «integrada» que incluye típicamente los altos hornos y los hornos básicos de oxígeno para la fabricación de acero (BOF, del inglés, *Basic Oxygen Furnace*), o bien, en algunos casos, los hornos de reverbero (OHF, del inglés, *Open Hearth Furnace*). Es común también que una parte de la producción se realice fuera de la planta, bajo la responsabilidad de otro operador, tal como el de una instalación de producción de coque fuera del sitio.

En algunos países existen plantas de producción de coque que no están integradas a la producción de hierro y acero (esto es, están «fuera del sitio»). En este capítulo se presenta una orientación para estimar las emisiones de CO₂ y CH₄ provenientes de toda la producción de coque, con el fin de garantizar la coherencia y la exhaustividad. Los países deben estimar por separado, aplicando métodos de nivel superior, las emisiones de la producción in situ y fuera del sitio de coque pues los productos derivados de la producción in situ (p. ej., gas de horno de coque, cisco de coque, etc.) se utilizan a menudo durante la producción del hierro y del acero.

Fabricación primaria y secundaria del acero

La producción del acero puede realizarse en plantas integradas a partir del mineral de hierro, o bien en instalaciones secundarias que producen acero principalmente a partir de chatarra de acero reciclada. Las instalaciones integradas suelen incluir la producción del coque, los altos hornos y los hornos básicos de oxígeno para la fabricación del acero (BOF) o, en algunos casos, los hornos de reverbero (OHF). El acero bruto se produce en un horno básico de oxígeno a partir del arrabio producido por el alto horno y luego se procesa para obtener productos acabados de acero. El arrabio puede procesarse también directamente para obtener productos de hierro. La fabricación secundaria de acero se realiza muy a menudo en hornos de arco eléctrico (EAF, del inglés, *Electric Arc Furnace*). En 2003, los BOF daban cuenta de alrededor de un 63 por ciento de la producción mundial de acero y los EAF de un 33 por ciento, aproximadamente; los AHF daban cuenta del 4 por ciento restante, pero en la actualidad está disminuyendo.

Producción de hierro:

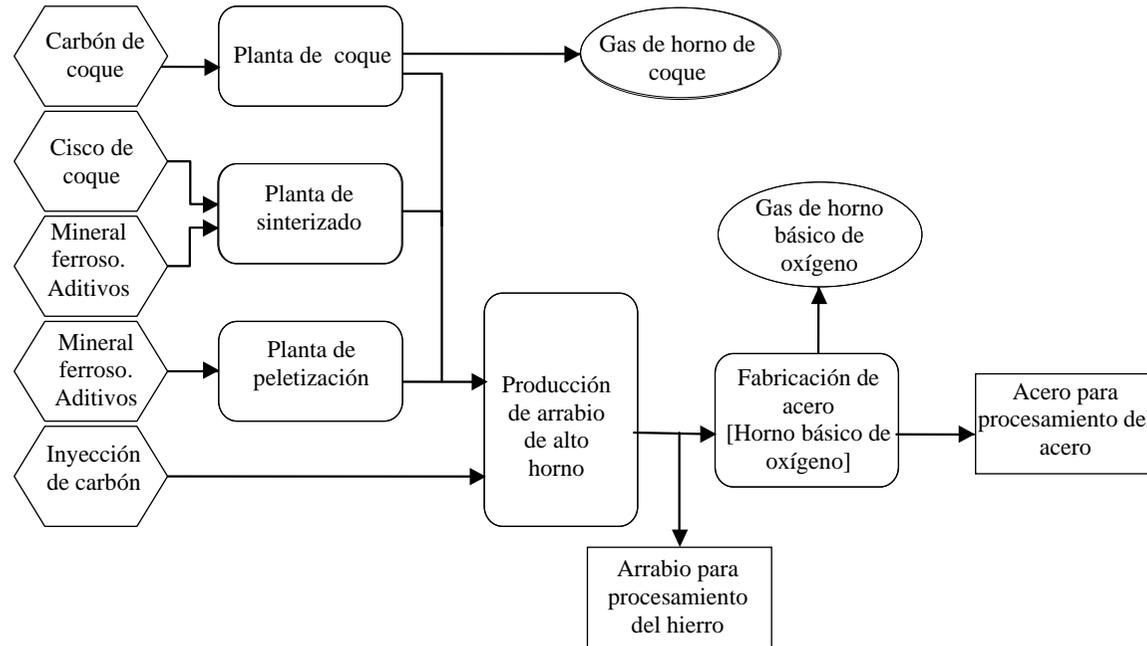
La producción de hierro puede tener lugar en instalaciones integradas o en instalaciones separadas fuera del sitio que usan altos hornos y BOF. Además de la producción de hierro en los altos hornos, el hierro puede producirse a través del proceso de reducción directa. La reducción directa consiste en la reducción del mineral de hierro en hierro metálico en estado sólido, a temperaturas de proceso inferiores a los 1 000 °C.

Producción de coque metalúrgico:

La producción de coque metalúrgico se considera un uso energético del combustible fósil y, por lo tanto, las emisiones deben declararse en la Categoría 1A del Sector Energía. Sin embargo, las metodologías se presentan aquí, en el Volumen 3, pues los datos de la actividad para estimar las emisiones de usos energéticos y no energéticos en la producción integrada del hierro y del acero presentan una superposición parcial significativa. Todo el combustible consumido en esta categoría de fuente no asignado como entrada a las plantas de sinterización, debe considerarse como quema de combustible, el cual se toma en cuenta y se declara en el Sector Energía (véase el Volumen 2: Energía).

¹ No se proporcionan metodologías para las emisiones de N₂O. Es probable que estas emisiones sean pequeñas, pero los países pueden calcular las estimaciones, siempre y cuando hayan desarrollado métodos específicos para el país, basados en los datos investigados.

Figura 4.1 Ilustración de los procesos principales de producción integrada de hierro y acero*



* Modificado a partir de : «The Sevilla Process: A Driver for Environmental Performance in Industry» (El proceso de Sevilla: Un impulso para el rendimiento ambiental de la industria) , Stuttgart, 6 y 7 de abril de 2000, BREF on the Production of Iron and Steel – conclusion on BAT, Dr. Harald Schoenberger, Regional State Government Office Freiburg, abril de 2000 (Schoenberger, 2000)

4.2.1 Introducción

PRODUCCIÓN DE COQUE METALÚRGICO:

El coque metalúrgico se utiliza principalmente en los altos hornos para fabricar hierro. Se emplea también en otros procesos metalúrgicos tales como la fabricación de hierro fundido. El coque metalúrgico es el producto sólido obtenido de la carbonización a altas temperaturas del carbón, principalmente el carbón de coque. Su contenido de humedad y de materias volátiles es bajo. Por carbón de coque se designa al carbón bituminoso con una calidad que permita la producción de un coque adecuado para ser aportado a la carga de un alto horno. Su poder calórico bruto es superior a 5 700 kcal/kg. (23 865 kJ/kg.) cuando está libre de cenizas, aunque húmedo. El gas de horno de coque es un producto derivado de la fabricación del coque metalúrgico para la producción del hierro y del acero. En la Figura 4.2 se ilustra el proceso de producción del coque y las fuentes asociadas de emisiones de CH_4 y CO_2 .

Nótese que el gas de horno de coque puede quemarse para calentar los hornos de coque o transferirse internamente en la planta de hierro y acero, así como utilizarse en la producción de sinterizado o en el proceso de producción del hierro. El gas de horno de coque puede transferirse también fuera de la instalación (p. ej., hacia el sistema de distribución de gas natural) y emplearse como fuente de energía. La combustión del coque en los altos hornos durante el proceso de fabricación del hierro y del acero produce gas de alto horno, el cual puede recuperarse después y transferirse desde la forja de hierro y acero hacia la planta local de coque y quemarse para calentar los hornos de coque o utilizarse en la producción de sinterizado. La combustión de gas de alto horno y de gas de horno de coque es la fuente principal de emisiones CO_2 y CH_4 de en la producción del coque.

PRODUCCIÓN DE SINTERIZADO

El mineral de hierro y otros materiales que contienen hierro puede aglomerarse en las plantas de sinterización de las plantas integradas de hierro y acero, antes de introducirlo en el alto horno. La alimentación al proceso en las plantas de sinterización puede incluir mineral de hierro fino, aditivos (p. ej., cal, olivina) y materiales reciclados que contienen hierro provenientes de los procesos posteriores de fabricación de hierro y acero (p. ej., polvos provenientes de la limpieza de los altos hornos). El cisco de coque (coque de horno de coque de baja gradación constituido por partículas de un tamaño de <5 mm) es el material de proceso más utilizado en las plantas de sinterización. Puede producirse en los hornos de coque de las plantas integradas de hierro y acero, o bien puede comprarse a productores fuera del sitio. El gas de alto horno o el gas de horno de coque producido internamente durante la producción integrada de hierro y acero pueden utilizarse en las plantas de sinterización. La operación de las plantas de sinterización produce emisiones de dióxido de carbono provenientes de la oxidación del cisco de coque y de otras entradas. Las descargas gaseosas de la producción de sinterizado contienen también metano y otros hidrocarburos. En la Figura 4.3 se ilustra el proceso de producción del sinterizado.

PRODUCCIÓN DE PELETS

Los pelets se forman a partir de materias primas que contienen hierro (esto es, mineral fino y aditivos), en un proceso a muy altas temperaturas que los reduce a esferas de 9-16 mm de diámetro. El proceso incluye el molido, el secado, la granulación y el tratamiento térmico de las materias primas. Las plantas de peletización están ubicadas principalmente en las minas de hierro o en los puertos de embarque, pero pueden formar parte de las instalaciones de una planta integrada de hierro y acero. En las plantas de peletización, como combustible puede usarse el gas natural o el carbón; en las plantas situadas dentro de una instalación integrada de hierro y acero, puede usarse el gas de horno de coque. El consumo de energía para el proceso, así como las emisiones asociadas de CO_2 , depende, en parte, de la calidad del hierro y de las otras materias primas utilizadas en el proceso. Las emisiones de CO_2 dependen también del contenido de carbono y del poder calórico de los combustibles empleados en el proceso.

FABRICACIÓN DEL HIERRO Y FUNCIÓN DEL COQUE

La mayor parte del CO_2 emitido por la industria del hierro y del acero está asociado con la producción de hierro y, más específicamente, con el uso del carbono para convertir el mineral de hierro en hierro metálico. En la figura 4.4 se describe el proceso de fabricación del hierro y las fuentes asociadas de emisiones. El carbono se suministra al alto horno principalmente bajo la forma de coque producido a partir del carbón coquizable de grado metalúrgico (pero puede darse también bajo la forma de carbón vegetal de leña o de otras formas de carbono). El carbono cumple una doble función en el proceso de fabricación del hierro: primeramente como agente reductor para convertir los óxidos de hierro en hierro, pero también como fuente de energía para proporcionar calor cuando el carbono y el oxígeno reaccionan en forma exotérmica. El gas de alto horno se produce durante la combustión del coque en el alto horno. Típicamente, se recupera y utiliza como combustible, en parte dentro de la planta y en parte en otros procesos de la industria del acero, o bien, en centrales eléctricas equipadas para quemarlo. También, el gas de alto horno puede recuperarse para transferirse desde la forja de hierro y acero

hacia la planta interna de coque y quemarse para obtener energía dentro de los hornos de coque. El gas de alto horno puede transferirse igualmente fuera de la instalación y emplearse como fuente de energía, tanto dentro del horno como al quemarlo para calentar el aire inyectado. El gas de horno de oxígeno para aceros se obtiene como producto derivado de la producción del acero en un horno básico de oxígeno (BOF) y se recupera a la salida del horno. Todo el carbono utilizado en los altos hornos debe considerarse fuente de emisiones relacionadas con procesos IPPU.

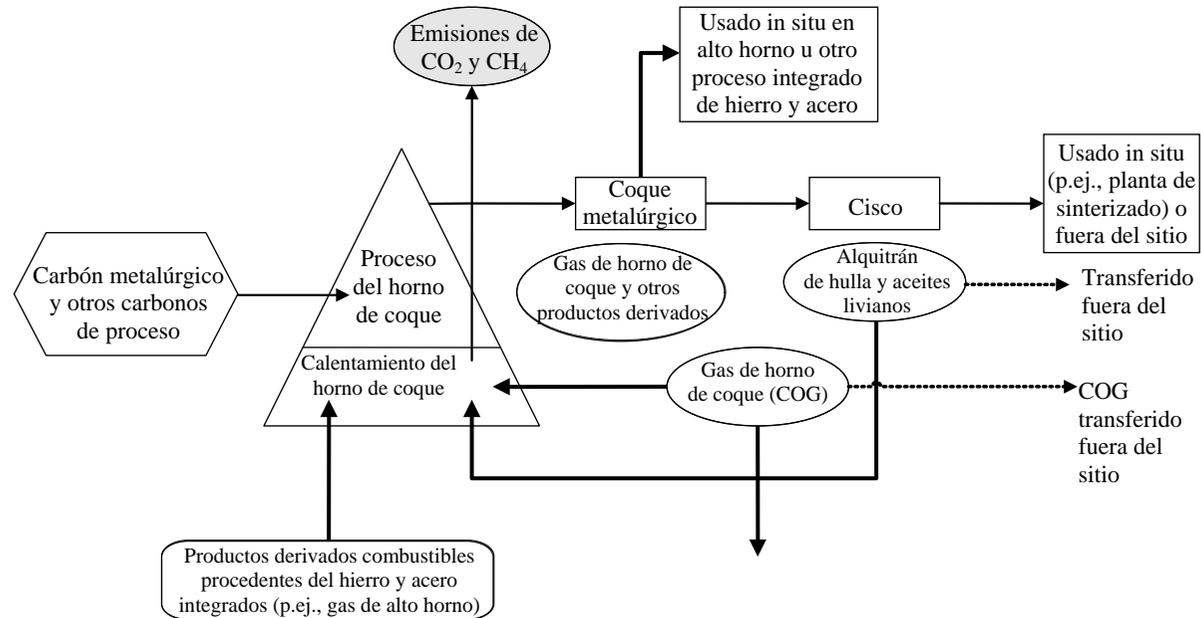
Además, el hierro puede producirse mediante un proceso de reducción directa. La reducción directa implica la reducción del mineral de hierro en hierro metálico en el estado sólido a temperaturas inferiores a 1 000 °C. El proceso de reducción directa produce un producto sólido denominado hierro reducido directo (DRI, del inglés, *Direct Reduced Iron*). El contenido de carbono del DRI es inferior al 2 por ciento. El DRI se emplea normalmente en reemplazo de la chatarra metálica para la fabricación de acero por la vía del horno de arco eléctrico, pero puede utilizarse también como alimentación al proceso de fabricación de hierro en alto horno. Cuando el DRI debe ser almacenado o transportado, puede también fundirse en forma de ladrillos, y se denomina hierro briquetado en caliente (HBI, del inglés, *Hot Briquetted Iron*). Los compiladores del inventario pueden estimar las emisiones de CO₂ de estos procesos a partir del consumo de energía y del contenido de carbono del combustible (p. ej., gas natural, carbón).

LA FABRICACIÓN DEL ACERO

La producción de acero en los BOF comienza por la carga del recipiente con un 70–90 por ciento de hierro fundido y un 10–30 por ciento de chatarra de acero. El oxígeno de gran pureza se combina luego con el carbono contenido en el hierro para desatar una reacción exotérmica que funde la carga, al tiempo que el contenido de carbono disminuye. El hierro de alto horno contiene generalmente un 3–4 por ciento de carbono, el cual debe ser reducido a menos de un 1 por ciento, refinado y aleado para producir el grado de acero deseado.

La producción de acero en un EAF se realiza típicamente mediante una carga de 100 por ciento de chatarra de acero reciclado, el cual se funde utilizando la energía eléctrica que se aplica a la carga mediante electrodos de carbono; luego se refina y se alea para producir el grado de acero deseado. Aunque los EAF pueden estar ubicados en las plantas integradas, debido a que dependen fundamentalmente de la chatarra de acero y no de la chatarra de hierro como materia prima, constituyen típicamente operaciones autónomas. Puesto que el proceso en EAF consiste principalmente en la fundición de chatarra y no en la reducción de óxidos, la función del carbono no es tan dominante como en el caso del proceso en alto horno y/o en BOF. En la mayoría de los EAF cargados con chatarra, las emisiones de CO₂ están asociadas principalmente con el consumo de electrodos de carbono. Todo el carbono utilizado en los EAF y en otros procesos de fabricación de acero debe considerarse fuente de emisiones relacionadas con los procesos IPPU. En la figura 4.5 se describe el proceso de fabricación del acero y las fuentes de emisiones asociadas.

Figura 4.2 Ilustración del proceso de producción del coque (emisiones declaradas en la Categoría 1A del Sector Energía)



Nota :

Las líneas en negra se aplican sólo a la producción de coque *in situ* en una planta integrada de hierro y acero. Las líneas punteadas corresponden a las transferencias de materiales hacia «procesos fuera del sitio». Los «procesos fuera del sitio» no incluyen los procesos de producción integrada de hierro y acero que se consideran de la categoría «in situ».

Figura 4.3 Ilustración del proceso de producción de sinterizado

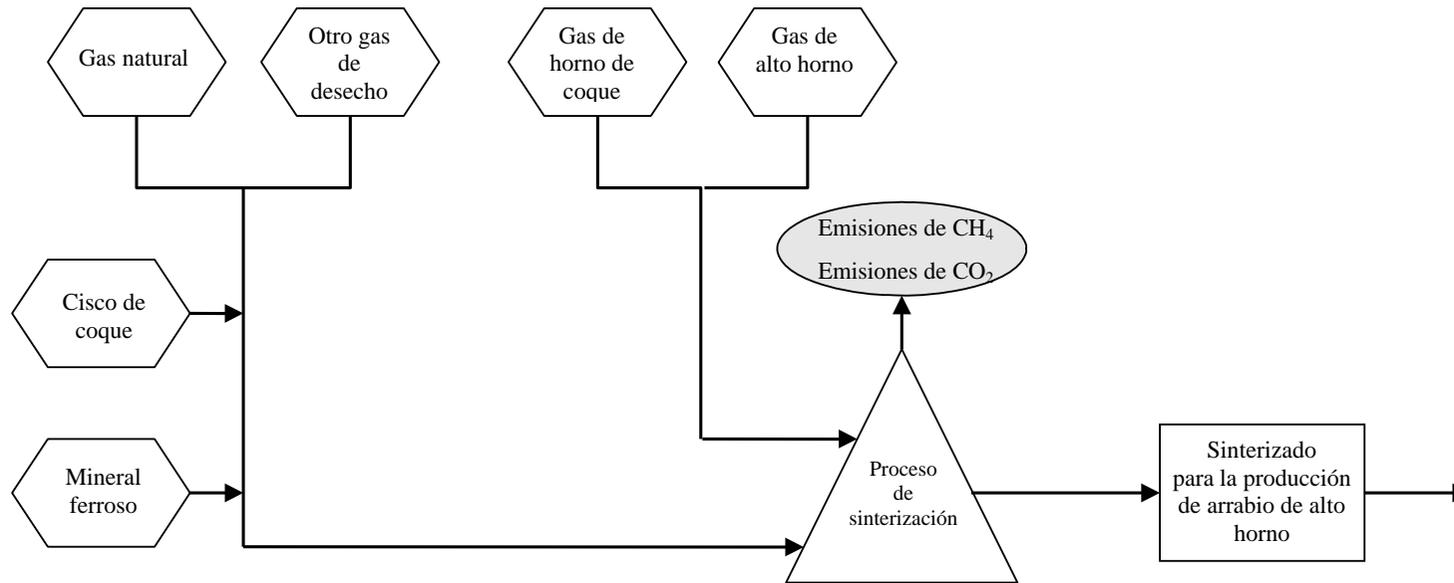


Figura 4.4 Ilustración del proceso de producción de arrabio

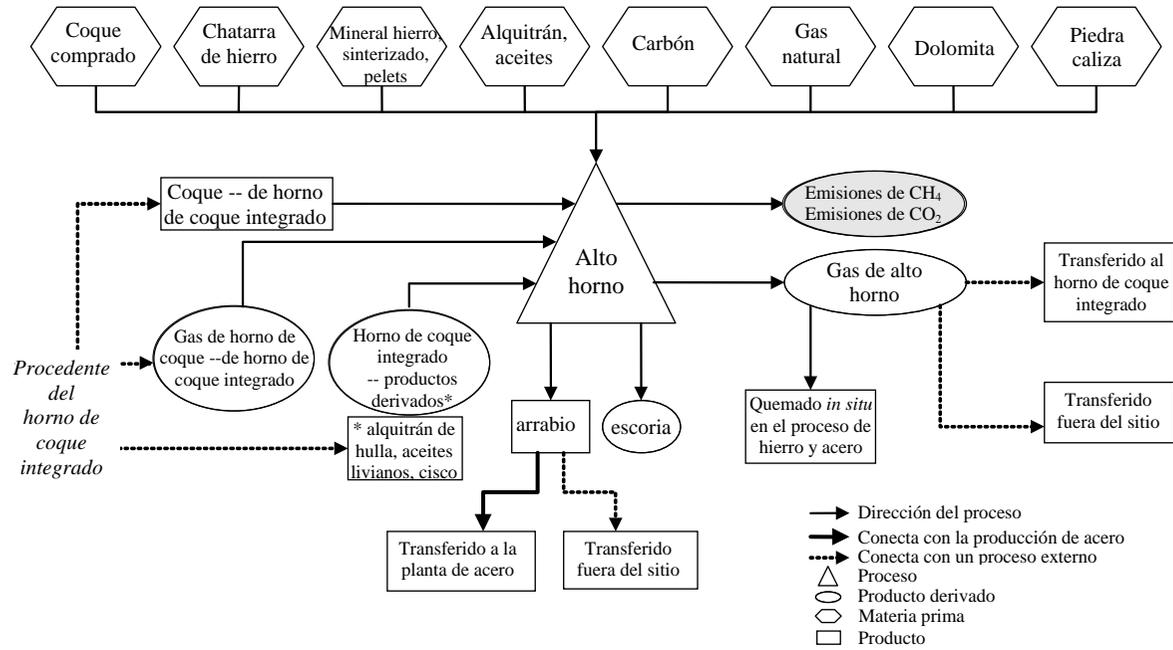
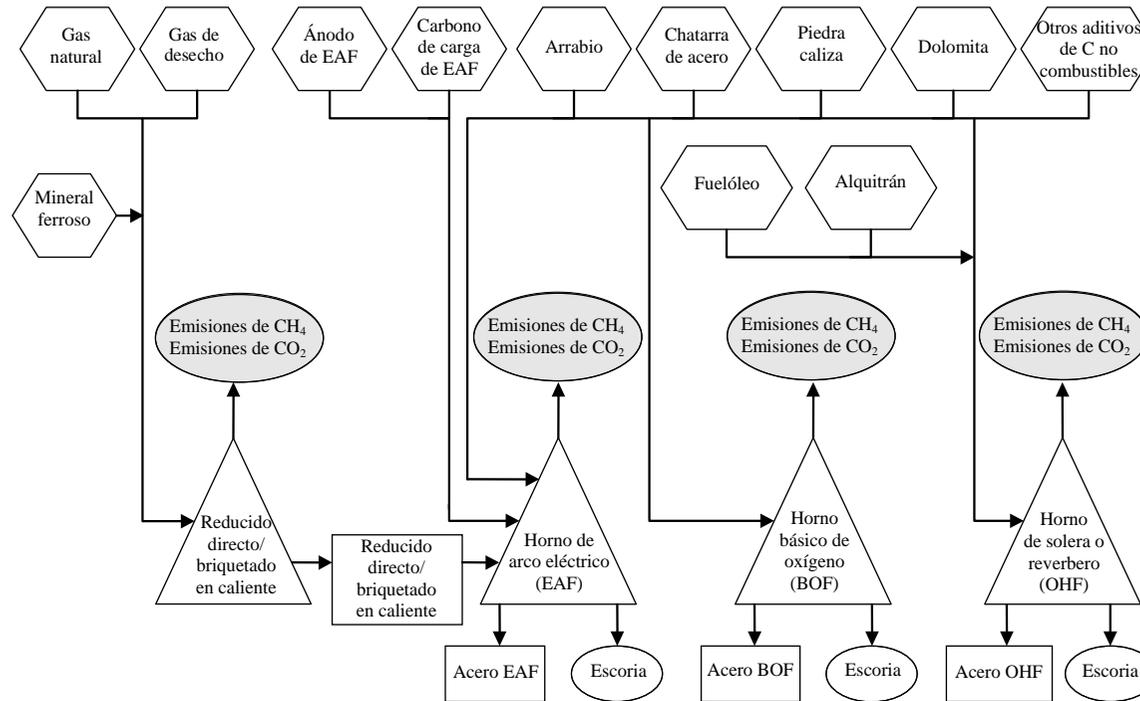


Figura 4.5 Ilustración del proceso de producción de acero



4.2.2 Cuestiones metodológicas

4.2.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO: PRODUCCIÓN DE COQUE METALÚRGICO

En las *Directrices del IPCC* se bosquejan tres niveles para calcular las emisiones de CO₂ y dos niveles para calcular las emisiones de CH₄ procedentes de la producción de coque. La elección de un método de *buena práctica* para la estimación de las emisiones de CO₂ depende de las circunstancias nacionales, como se indica en el árbol de decisión de la Figura 4.6, Estimación de las emisiones de CO₂ de la producción del coque metalúrgico. Para las emisiones de CH₄, utilice el árbol de decisión de la Figura 4.8. El coque metalúrgico se produce ya sea en una instalación para hierro y acero («in situ») o en instalaciones separadas («fuera del sitio»). En el método de Nivel 1, las emisiones se calculan a partir de toda la producción de coque, mediante factores de emisión por defecto que se aplican a la producción nacional de coque. En el método de Nivel 2, para estimar las emisiones de CO₂, se distingue entre la producción de coque in situ y la producción fuera del sitio. Se usan datos nacionales de la actividad sobre el consumo y la producción de materiales de proceso (p. ej., carbón coquizable consumido, coque producido y productos de alquitrán de hulla producido). Como se analizó más arriba, el método de Nivel 2 no es aplicable a la estimación de emisiones de CH₄. Para el método de Nivel 3, se requieren datos sobre las emisiones de CO₂ y las emisiones de CH₄ específicos de la planta, o bien, datos de la actividad específicos de la planta.

MÉTODO DE NIVEL 1 – FACTORES DE EMISIÓN BASADOS EN LA PRODUCCIÓN

La Ecuación 4.1 permite calcular las emisiones provenientes de toda la producción de coque. En el método de Nivel 1 se supone que todo el coque producido localmente en las instalaciones para el hierro y el acero se utiliza localmente. El método de Nivel 1 consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por las toneladas de coque producido. Las emisiones deben declararse en el Sector Energía.

<p>ECUACIÓN 4.1</p> <p>EMISIONES PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE COQUE (NIVEL 1)</p> <p>$E_{CO_2} = Coque \cdot EF_{CO_2}$ y $E_{CH_4} = Coque \cdot EF_{CH_4}$ (a declarar en el Sector Energía)</p>
--

Donde:

E_{CO_2} o E_{CH_4} = emisiones de CO₂ o de CH₄ generadas por la producción de coque, toneladas de CO₂ o toneladas de CH₄

Coque = cantidad de coque producido nacionalmente, toneladas

EF= factor de emisión, toneladas de CO₂/tonelada de producción de coque o toneladas de CH₄/tonelada de producción de coque

Nota: En el método de Nivel 1 se supone que todos los productos derivados del horno de coque se transfieren fuera de la instalación y que todo el gas de horno de coque producido se quema localmente para recuperar energía.

MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 es apropiado si se dispone de estadísticas nacionales sobre las entradas y salidas de los procesos de la producción integrada o no integrada del coque. Con el Nivel 2 se obtiene una estimación más exacta que con el Nivel 1, pues se toma en cuenta la cantidad efectiva de entradas y salidas en vez de hacer suposiciones.

Como está expresado en las Ecuaciones 4.2 y 4.3, en el Nivel 2 las emisiones de CO₂ de la producción local de coque se estiman aparte de la producción fuera del sitio. Esta separación se debe a los requisitos en la superposición de los datos al estimar las emisiones de la producción local de coque y las emisiones de la producción de hierro y acero.

ECUACIÓN 4.2
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN LOCAL DE COQUE (NIVEL 2)

$$E_{CO_2, energía} = \left[CC \cdot C_{CC} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) + BG \cdot C_{BG} - CO \cdot C_{CO} - COG \cdot C_{COG} - \sum_b (COB_b \cdot C_b) \right] \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

$E_{CO_2, energía}$ = emisiones de CO₂ a partir de la producción local de coque a ser declarada en el Sector Energía, toneladas

CC = cantidad de carbón coquizable consumido en la producción local de coque en instalaciones integradas de producción de hierro y acero, toneladas

PM_a = cantidad de otro material de proceso *a*, diferente de los enumerados como términos separados, tales como el gas natural y el fuelóleo, consumido para la producción local de coque y de sinterizado en instalaciones integradas de producción de hierro y acero, toneladas

BG = cantidad de gas de alto horno consumido en los hornos de coque, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

CO = cantidad de coque producido localmente en instalaciones integradas de producción de hierro y acero, toneladas

COG = cantidad de gas de horno de coque transferido fuera de la instalación, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

COB_b = cantidad de producto derivado *b* del horno de coque, transferido fuera de la instalación o hacia otras instalaciones fuera del sitio, toneladas

C_x = contenido de carbono del material de entrada o salida *x*, toneladas de C/(unidad para el material *x*) [p. ej., toneladas de C/tonelada]

Para la producción fuera del sitio de coque, el compilador del inventario debe utilizar la Ecuación 4.3. El total de las emisiones corresponde a la suma de las emisiones de todas las plantas, utilizando tanto la Ecuación 4.2 como la 4.3.

ECUACIÓN 4.3
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE COQUE FUERA DEL SITIO (NIVEL 2)

$$E_{CO_2, energía} = \left[CC \cdot C_{CC} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) - NIC \cdot C_{NIC} - COG \cdot C_{COG} - \sum_b (COB_b \cdot C_b) \right] \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

$E_{CO_2, energía}$ = emisiones de CO₂ a partir de la producción local de coque a ser declarada en el Sector Energía, toneladas

CC = cantidad de carbón coquizable utilizado en las instalaciones no integradas de producción de coque, toneladas

PM_a = cantidad de otros materiales de proceso *a*, diferentes del carbón coquizable, tales como el gas natural y el fuelóleo consumido nacionalmente en instalaciones no integradas de producción de coque, toneladas

NIC = cantidad de coque producido fuera del sitio en las instalaciones no integradas de producción de coque al nivel nacional, toneladas

COG = cantidad de gas de horno de coque producido fuera del sitio en las instalaciones no integradas de producción de coque al nivel nacional y que se transfiere a otras instalaciones, m³ (u otra unidad como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

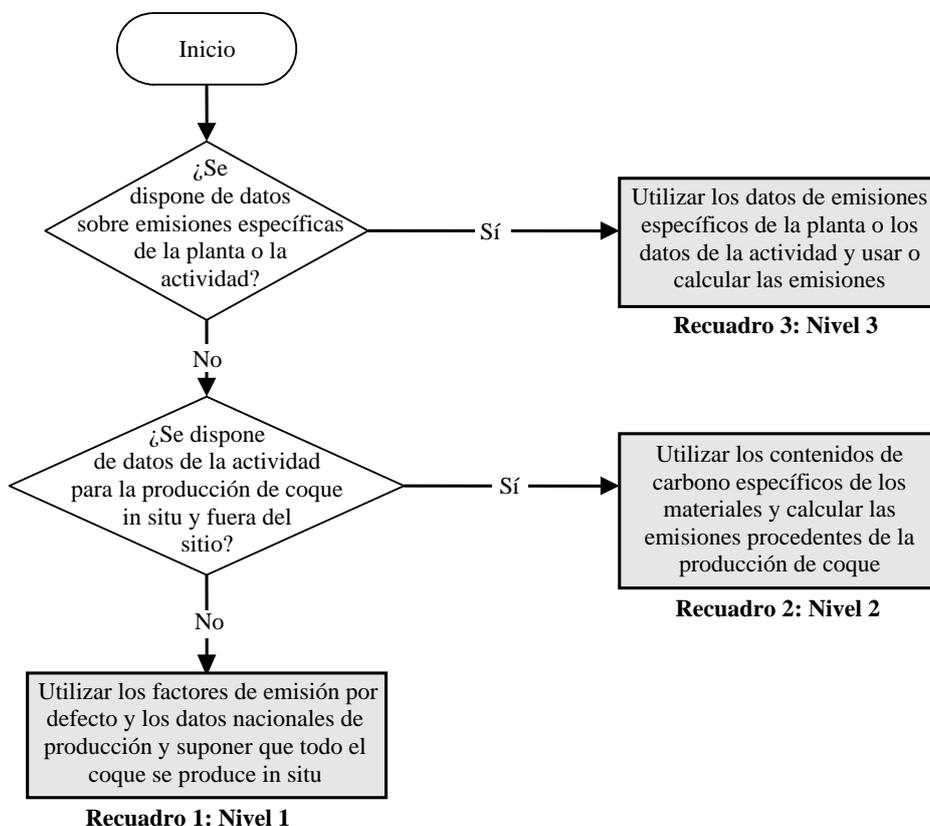
COB_b = cantidad de producto derivado *b* del horno de coque, producido al nivel nacional en instalaciones fuera del sitio y no integradas, transferido hacia otras instalaciones fuera del sitio, toneladas

C_x = contenido de carbono del material de entrada o salida x , toneladas de C/(unidad para el material x)
 [p. ej., toneladas de C/tonelada]

MÉTODO DE NIVEL 3

A diferencia del método de Nivel 2, el método de Nivel 3 utiliza datos específicos de planta pues las plantas pueden diferir sustancialmente en cuanto a la tecnología y a las condiciones de los procesos. Si se dispone de datos de emisiones de CO₂/CH₄ efectivamente medidos en las plantas de producción de coque in situ y fuera del sitio, estos datos pueden agregarse y usarse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales de la producción de coque metalúrgico, empleando el método de Nivel 3. El total de las emisiones nacionales corresponderá a la suma de las emisiones declaradas por cada instalación. Si no se dispone de datos sobre las emisiones de CO₂ específicos de las instalaciones, las emisiones de CO₂ pueden calcularse a partir de los datos de la actividad específicos de las plantas mediante el método de Nivel 2, con las Ecuaciones 4.2 y 4.3. El total de las emisiones nacionales corresponde a la suma de las emisiones declaradas por cada instalación.

Figure 4.6 Estimación de las emisiones de CO₂ generadas por la producción de coque metalúrgico

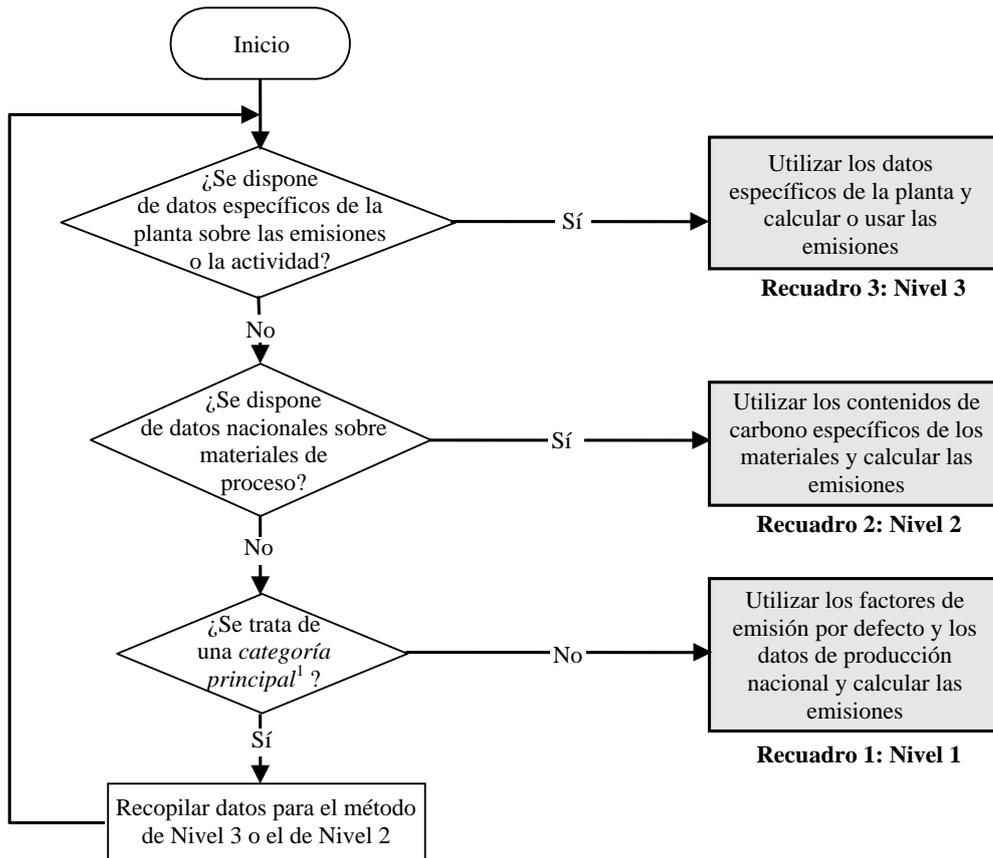


4.2.2.2 ELECCIÓN DEL MÉTODO: PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO

En estas *Directrices* se bosquejan tres niveles para calcular las emisiones de CO₂ y dos niveles para calcular las emisiones de CH₄ provenientes de la producción del hierro y del acero. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión de la Figura 4.7 para las emisiones de CO₂ y de la Figura 4.8 para las emisiones de CH₄: Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ de la producción de hierro y acero y Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CH₄ de la producción de hierro y acero. El método de Nivel 1 se basa en datos sobre la producción nacional y en factores de emisión por defecto. Puede conducir a errores debido a que depende de hipótesis en vez de datos reales sobre las cantidades de las entradas en el sector de la producción de sinterizado y de la producción de

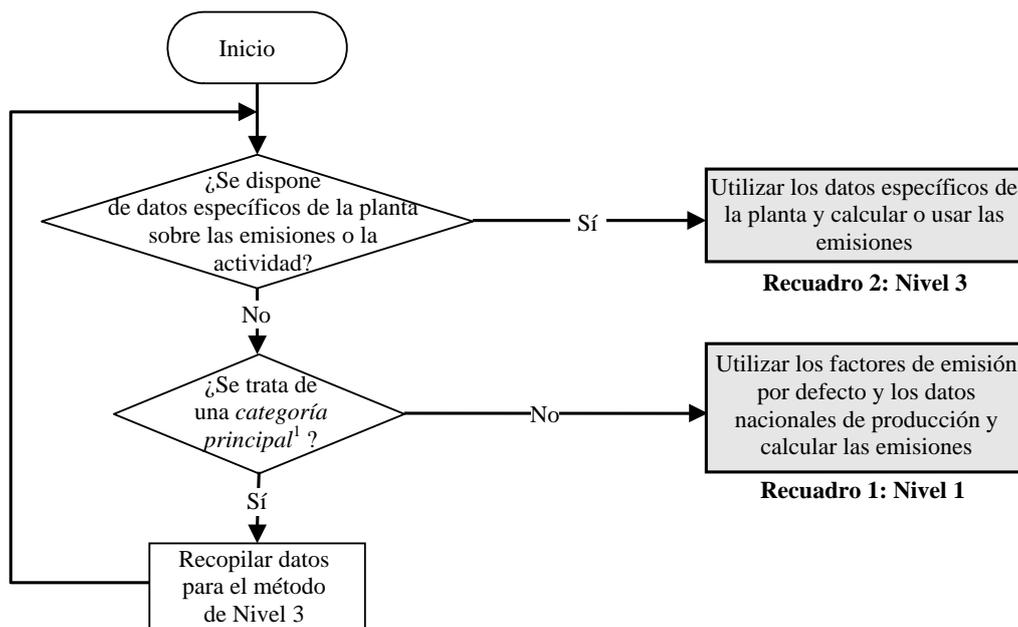
hierro y acero que contribuyen a las emisiones de CO₂. Por lo tanto, el Nivel 1 es apropiado sólo si la producción de hierro y acero no constituye una *categoría principal*. Se proveen factores de emisión por defecto para la producción de sinterizado, la fabricación de hierro en altos hornos, la producción de hierro reducido directo, la producción de pelets y para cada método de fabricación del acero. Las fuentes primarias de emisiones son la fabricación de hierro en altos hornos y la fabricación de acero. El método de Nivel 2 para estimar las emisiones de CO₂ de la producción de hierro y acero se basa en datos sobre el consumo conocido de materias primas, incluidos los agentes reductores, y en datos genéricos de la industria. Emplea el método del equilibrio de masas y los contenidos de carbono específicos de los materiales. El método de Nivel 2 no es aplicable a la estimación de las emisiones de CH₄. Para estimar las emisiones de CO₂ y CH₄, el método de Nivel 3 requiere datos sobre las emisiones específicas de las plantas o datos de la actividad agregados al nivel nacional.

Figura 4.7 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de hierro y acero**



1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

Figura 4.8 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CH₄ provenientes de la producción de hierro y acero**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LAS EMISIONES DE CO₂

Método de Nivel 1 – factores de emisión basados en la producción

El método de Nivel 1 para las emisiones de la producción de hierro y acero consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por los datos sobre la producción nacional, como se muestra en la Ecuación 4.4. Debido a las amplias variaciones en las emisiones por unidad de producción de acero, que dependen del método de producción, es una *buena práctica* determinar la fracción de acero que se produce en los diferentes procesos de fabricación, calcular las emisiones para cada proceso y sumar luego las estimaciones. En la Ecuación 4.4 se considera la producción de acero a partir de hornos básicos de oxígeno (BOF), hornos de arco eléctrico (EAF) y hornos de solera (OHF, del inglés, en *Open Hearth Furnaces*). Para el caso de que no se disponga de datos de la actividad sobre la producción de acero para cada proceso, en el Cuadro 4.1 de la Sección 4.2.2.3 se proporciona la parte del total nacional de la producción de acero que se atribuye por defecto a cada uno de estos tres procesos de fabricación.

La Ecuación 4.5 permite calcular las emisiones de la producción de arrabio que no se convierte en acero. Es preferible estimar las emisiones de esta producción por separado, pues los factores de emisión para la producción integrada de hierro y acero (procesos BOF y OHF) toman en cuenta las emisiones de ambas etapas.

La Ecuación 4.6 permite calcular las emisiones de CO₂ de la producción de hierro reducido directo (DRI) para el método de Nivel 1, utilizando un factor de emisión de CO₂.

Es también una *buena práctica* estimar separadamente, mediante las Ecuaciones 4.7 y 4.8, las emisiones de la producción de sinterizado y de la producción nacional de pelets. Las Ecuaciones 4.7 y 4.8 deben usarse si el compilador del inventario no posee información detallada sobre los materiales de proceso utilizados. Si se conocen dichos materiales, las emisiones deben calcularse mediante el método de Nivel 2.

El total de las emisiones corresponde a la suma de los resultados de las Ecuaciones 4.4 a 4.8.

<p>ECUACIÓN 4.4</p> <p>EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO (NIVEL 1)</p> <p>Hierro y acero: $E_{CO_2, no-energía} = BOF \cdot EF_{BOF} + EAF \cdot EF_{EAF} + OHF \cdot EF_{OHF}$</p>
--

ECUACIÓN 4.5**EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARRABIO NO PROCESADO EN ACERO (NIVEL 1)**

$$\text{Producción de arrabio: } E_{CO_2, no-energía} = IP \bullet EF_{IP}$$

ECUACIÓN 4.6**EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO REDUCIDO DIRECTO (NIVEL 1)**

$$\text{Hierro reducido directo: } E_{CO_2, no-energía} = DRI \bullet EF_{DRI}$$

ECUACIÓN 4.7**EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE SINTERIZADO (NIVEL 1)**

$$\text{Producción de sinterizado: } E_{CO_2, no-energía} = SI \bullet EF_{SI}$$

ECUACIÓN 4.8**EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE PELETS (NIVEL 1)**

$$\text{Producción de pelets: } E_{CO_2, no-energía} = P \bullet EF_P$$

Donde:

$E_{CO_2, no-energía}$ = emisiones de CO₂ a ser declaradas en el Sector IPPU, toneladas

BOF= cantidad de acero crudo producido en BOF, toneladas

EAF= cantidad de acero crudo producido en EAF, toneladas

OHF= cantidad de acero crudo producido en OHF, toneladas

IP = cantidad de producción de arrabio no convertido en acero, toneladas

DRI = cantidad de hierro reducido directo producido nacionalmente, toneladas

SI = cantidad de sinterizado producido nacionalmente, toneladas

P = cantidad de pelets producido nacionalmente, toneladas

EF_x = factor de emisión, toneladas de CO₂/tonelada de x producido

Método de Nivel 2

El método de Nivel 2 es el apropiado si el compilador del inventario tiene acceso a los datos nacionales sobre el uso de los materiales de proceso para la producción del hierro y del acero, la producción de sinterizado, la producción de pelets y la producción de hierro reducido directo. Además, como se analiza en la Sección 4.2.2.5, hay un cierto número de otras entradas y salidas de los procesos que pueden considerarse en el Nivel 2. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de la elaboración de las estadísticas sobre fabricación y sobre energía, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de hierro y acero individuales. Con el Nivel 2 se obtiene una estimación más exacta que con el Nivel 1, pues se toma en cuenta la cantidad real de entradas que contribuyen a las emisiones de CO₂.

Al calcular las emisiones de la producción de pelets, puede utilizarse el consumo de energía, el poder calórico y el contenido de carbono del combustible, de manera análoga al caso de las otras metodologías.

ECUACIÓN 4.9

EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO (NIVEL 2)

$$E_{CO_2, no-energía} = \left[PC \cdot C_{PC} + \sum_a (COB_a \cdot C_a) + CI \cdot C_{CI} + L \cdot C_L + D \cdot C_D + CE \cdot C_{CE} + \sum_b (O_b \cdot C_b) + COG \cdot C_{COG} - S \cdot C_S - IP \cdot C_{IP} - BG \cdot C_{BG} \right] \cdot \frac{44}{12}$$

ECUACIÓN 4.10

EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE SINTERIZADO (NIVEL 2)

$$E_{CO_2, no-energía} = \left[CBR \cdot C_{CBR} + COG \cdot C_{COG} + BG \cdot C_{BG} + \sum_a (PM_a \cdot C_a) - SOG \cdot C_{SOG} \right] \cdot \frac{44}{12}$$

Donde, para la producción de hierro y acero:

$E_{CO_2, no-energía}$ = emisiones de CO₂ a ser declaradas en el Sector IPPU, toneladas

PC = cantidad de coque consumido en la producción de hierro y acero (excluida la producción de sinterizado), toneladas

COB_a = cantidad de producto derivado *a* de horno de coque local consumido en alto horno, toneladas

CI = cantidad de carbón inyectado directamente al alto horno, toneladas

L = cantidad de piedra caliza consumida en la producción de hierro y acero, toneladas

D = cantidad de dolomita consumida en la producción de hierro y acero, toneladas

CE = cantidad de electrodos de carbono consumidos en los EAF, toneladas

O_b = cantidad de otro carbonáceo y material de proceso *b*, consumidos en la producción de hierro y acero, tales como sinterizado o plásticos de desecho, toneladas

COG = cantidad de gas de horno de coque transferido fuera de la instalación, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

S = cantidad de acero producido, toneladas

IP = cantidad de producción de hierro no convertido en acero, toneladas

BG = cantidad de gas de alto horno transferido fuera de la instalación, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

C_x = contenido de carbono del material de entrada o salida *x*, toneladas de C/(unidad para el material *x*) [p. ej., toneladas de C/tonelada]

Donde, para la producción de sinterizado:

$E_{CO_2, no-energía}$ = emisiones de CO₂ a ser declaradas en el Sector IPPU, toneladas

CBR = cantidad de cisco de coque comprada o producida localmente, utilizada para la producción de sinterizado, toneladas

COG = cantidad de gas de horno de coque consumido en los altos hornos para la producción de sinterizado, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

BG = cantidad de gas de alto horno consumido para la producción de sinterizado, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

PM_a = cantidad de otro material de proceso *a*, diferente de los enumerados como elementos separados, tales como el gas natural y el fuelóleo, consumido para la producción local de coque y de sinterizado en instalaciones integradas de producción de coque, hierro y acero, toneladas

SOG = cantidad de descargas gaseosas del sinterizado transferidas fuera de la instalación, ya sea hacia instalaciones de producción de hierro y acero u otras instalaciones, m³ (u otras unidades como toneladas o GJ. La conversión de la unidad debe ser coherente con el Volumen 2: Energía)

C_x = contenido de carbono del material de entrada o salida x , toneladas de C/(unidad para el material x)
[p. ej., toneladas de C/tonelada]

La Ecuación 4.11 permite calcular las emisiones de CO₂ de la producción de hierro reducido directo para el método de Nivel 2 basado en el consumo de combustible y en el contenido de carbono del combustible. Las emisiones de la producción de DRI se derivan a partir de la quema de combustibles, cisco de coque, coque metalúrgico u otros materiales carbonáceos y deben declararse como emisiones del Sector IPPU.

ECUACIÓN 4.11
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO REDUCIDO DIRECTO (NIVEL 2)

$$E_{CO_2, no-energía} = (DRI_{NG} \cdot C_{NG} + DRI_{BZ} \cdot C_{BZ} + DRI_{CK} \cdot C_{CK}) \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

$E_{CO_2, no-energía}$ = emisiones de CO₂ a ser declaradas en el Sector IPPU, toneladas

DRI_{NG} = cantidad de gas natural utilizado en la producción de hierro reducido directo, GJ

DRI_{BZ} = cantidad de cisco de coque utilizada en la producción de hierro reducido directo, GJ

DRI_{CK} = cantidad de coque metalúrgico utilizado en la producción de hierro reducido directo, GJ

C_{NG} = contenido de carbono del gas natural, tonelada de C/GJ

C_{BZ} = contenido de carbono del cisco de coque, tonelada de C/GJ

C_{CK} = contenido de carbono del coque metalúrgico, tonelada de C/GJ

Método de Nivel 3

A diferencia del método de Nivel 2, en el de Nivel 3 se emplean datos específicos de la planta. El método de Nivel 3 proporciona estimaciones aún más exactas de las emisiones que el método de Nivel 2, pues las plantas pueden diferir sustancialmente en cuanto a la tecnología y a las condiciones de los procesos. Si se dispone de datos sobre emisiones de CO₂ medidas efectivamente en las instalaciones de fabricación de hierro y acero, éstos pueden agregarse para dar cuenta de las emisiones nacionales de CO₂. Si no se dispone de datos sobre las emisiones de CO₂ específicas de las instalaciones, las emisiones de CO₂ pueden calcularse a partir de los datos de la actividad específicos de las plantas sobre los agentes reductores individuales, los gases de escape y otros materiales de proceso y productos. El total de las emisiones nacionales corresponde a la suma de las emisiones declaradas por cada instalación. En las Ecuaciones 4.9 hasta 4.11 se describen los parámetros necesarios para dar cuenta de las emisiones específicas de las plantas, al emplear el método de Nivel 3, y de los datos de actividad específicos de la planta al nivel de la instalación. Para el método de Nivel 3 se requieren los contenidos de carbono específicos de la planta correspondientes a cada material.

METODOLOGÍA PARA EL CH₄

Cuando en el horno de producción de sinterizado o de hierro se calientan materiales que contienen carbono, se liberan compuestos volátiles, incluido el metano. En los hornos abiertos o parcialmente cubiertos, la mayoría de los compuestos volátiles se quema por encima de la carga, en la campana extractora y en los conductos de evacuación de las descargas gaseosas, produciendo CO₂, pero algunos permanecen sin reaccionar, como el CH₄ y los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM). Las cantidades dependen de la operación del horno. La carga por pulverización reduce las cantidades de CH₄, en comparación con la carga por lotes. El aumento de la temperatura en la campana de extracción (con menos aire parásito) reduce aún más el contenido de CH₄.

En esta sección se describe un método por defecto de Nivel 1 y un método de Nivel 3 más avanzado, al nivel de la instalación, para el CH₄ proveniente de la producción de sinterizado o de la producción de hierro; ambos son similares a los métodos descritos para estimar las emisiones de CO₂. No existe un método de Nivel 2. El CH₄ puede ser emitido también en el proceso de fabricación del acero, pero se supone que estas emisiones son insignificantes. Por esto, aquí no se discuten las emisiones de CH₄ de los procesos de fabricación de acero.

La metodología de Nivel 1 para el CH₄ se basa en factores de emisión y en las estadísticas nacionales de producción.

ECUACIÓN 4.12
EMISIONES DE CH₄ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE SINTERIZADO (NIVEL 1)

Producción de sinterizado: $E_{CH_4, no-energía} = SI \cdot EF_{SI}$

ECUACIÓN 4.13
EMISIONES DE CH₄ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARRABIO EN LOS ALTOS HORNOS (NIVEL 1)

Producción de arrabio: $E_{CH_4, no-energía} = PI \cdot EF_{PI}$

ECUACIÓN 4.14
EMISIONES DE CH₄ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE HIERRO REDUCIDO DIRECTO (NIVEL 1)

Producción de hierro reducido directo: $E_{CH_4, no-energía} = DRI \cdot EF_{DRI}$

Donde:

$E_{CH_4, no-energía}$ = emisiones de CH₄ a ser declaradas en el Sector IPPU, kg.

SI = cantidad de sinterizado producido nacionalmente, toneladas

PI = cantidad de hierro producido nacionalmente, incluido el hierro convertido en acero y no convertido en acero, toneladas

DRI = cantidad de hierro reducido directo producido nacionalmente, toneladas

EF_x = factor de emisión, kg. de CH₄/tonelada de x producido

En el método de Nivel 3 se utilizan datos sobre las emisiones específicas de la planta. Si se dispone de datos sobre emisiones de CH₄ medidas efectivamente para la producción de coque, pueden agregarse para dar cuenta de las emisiones nacionales de CH₄. El total de las emisiones nacionales corresponde a la suma de las emisiones declaradas por cada instalación.

4.2.2.3 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

MÉTODO DE NIVEL 1

Factores de emisión para el dióxido de carbono

En el Cuadro 4.1 se proporcionan factores de emisión por defecto para la producción de coque, sinterizado, pellets, hierro y acero. Los factores de emisión para los tres métodos de fabricación de acero están basados en un dictamen de expertos inspirado en las prácticas típicas para las diferentes posibilidades de producción de acero enumeradas. Los factores de emisión por defecto dan cuenta de todas las entradas de carbono al alto horno. Se supone, basándose en el Documento de referencia relacionado con la producción de hierro y acero de la Oficina europea de Prevención y control integrado de la contaminación (European IPPC Bureau, 2001) (designado en esta sección como «Documento IPPC I&S BAT») que la mayor parte de la entrada de carbono al alto horno proviene del coque (60-90 por ciento).

El factor de emisión por defecto para el CO₂ proveniente de la producción de coque se ha derivado promediando los datos específicos de planta sobre emisiones de CO₂ declarados en el Documento IPPC I&S BAT para 11 plantas europeas de producción de coque. En el Documento IPPC I&S BAT, Cuadro 6.2, las emisiones de CO₂ están declaradas en unidades de kilogramos de CO₂ por tonelada de acero líquido producido. Las emisiones de CO₂ varían en un intervalo de 175 a 200 kg. de CO₂ por tonelada de acero líquido. Los factores de conversión proporcionados en el Cuadro 6.2 del Documento del IPPC son de 940 kg. de arrabio por tonelada de acero líquido y de 358 kg. de coque por tonelada de arrabio. Basándose en estos factores de conversión, el promedio de las emisiones de CO₂ de las 11 plantas europeas de coque, es de 0,56 toneladas de CO₂ por tonelada de coque producido.

El factor de emisión para el CO₂ proveniente de las plantas de sinterizado se ha derivado promediando los datos específicos de planta sobre emisiones de CO₂ declarados en el Documento IPPC I&S BAT para cuatro plantas europeas de sinterizado. En el Documento IPPC I&S BAT, Cuadro 4,1, las emisiones de CO₂ están declaradas en unidades de kilogramos de CO₂ por tonelada de acero líquido producido. Las emisiones de CO₂ varían en un

intervalo de 205 a 240 kg. de CO₂ por tonelada de acero líquido. Los factores de conversión proporcionados en el Cuadro 4.1 del Documento IPPC I&S BAT son de 940 kg. de arrabio por tonelada de acero líquido y de 1160 kg. de sinterizado por tonelada de arrabio. Basándose en estos factores de conversión, el promedio de las emisiones de CO₂ de las cuatro plantas europeas de sinterizado es de 0,2 kg. de CO₂ por kilogramo de sinterizado producido.

El factor de emisión para el CO₂ proveniente de la fabricación de hierro en alto horno se ha derivado promediando los datos específicos de planta sobre las emisiones de CO₂ declarados en el Documento IPPC I&S BAT para las plantas europeas de producción de sinterizado. En los Cuadros 7.2 y 7.3 del Documento IPPC I&S BAT, los contenidos de CO₂ y de CO del gas de alto horno producido por el proceso de fabricación del hierro, están declarados en unidades de kilogramos de CO₂ por tonelada de arrabio producido y de kilogramos de CO por tonelada de arrabio producido. El contenido de CO₂ varía en un intervalo de 400 a 900 kg. de CO₂ por tonelada de arrabio producido y el contenido de CO varía en un intervalo de 300 a 700 kg. de CO por tonelada de arrabio producido. Basándose en la hipótesis de que todo el gas de alto horno se quema para recuperar energía (y produce CO₂) dentro de la forja integrada de hierro y acero, y de que no se transfiere gas de alto horno fuera de la instalación, se obtiene un factor de emisión de 1,35 kg. de CO₂ por kilogramo de arrabio producido.

CUADRO 4.1		
FACTORES POR DEFECTO DE EMISIÓN DE CO₂ DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE COQUE Y DE HIERRO Y ACERO		
Proceso	Factor de emisión	Fuente
Producción de sinterizado (tonelada de CO ₂ por tonelada de sinterizado producido)	0,20	Producción de sinterizado: European IPPC Bureau (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, diciembre de 2001, Cuadro 4.1, Página 29. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Horno de coque (tonelada de CO ₂ por tonelada de coque producido)	0,56	Producción de coque: European IPPC Bureau (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, diciembre de 2001, Cuadro 6.2, Página 122. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Producción de hierro (tonelada de CO ₂ por tonelada de arrabio producido)	1,35	Producción de hierro: European IPPC Bureau (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, diciembre de 2001, Cuadro 7.2, Página 7.3. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Producción de hierro reducido directo (tonelada de CO ₂ por tonelada de DRI producido)	0,70	Producción de hierro reducido directo: European IPPC Bureau (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, diciembre de 2001, Cuadro 10.1, Página 322 y Cuadro 10.4, Página 331. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Producción de pelets (tonelada de CO ₂ por tonelada de pelets producido)	0,03	Producción de pelets: European IPPC Bureau (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, diciembre de 2001, Cuadro 5.1, Página 95. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm

CUADRO 4.1		
FACTORES POR DEFECTO DE EMISIÓN DE CO₂ DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE COQUE Y DE HIERRO Y ACERO		
Método de fabricación de acero		
Horno básico de oxígeno (BOF) (tonelada de CO ₂ por tonelada de acero producido)	1,46	Producción de acero: Consenso de expertos y IISI Environmental Performance Indicators 2003 STEEL (International Iron and Steel Institute, 2004)
Horno de arco eléctrico (EAF) (tonelada de CO ₂ por tonelada de acero producido) **	0,08	Producción de acero: Consenso de expertos y IISI Environmental Performance Indicators 2003 STEEL (International Iron and Steel Institute, 2004)
Horno de solera (OHF) (tonelada de CO ₂ por tonelada de acero producido)	1,72	Producción de acero: Consenso de expertos y IISI Environmental Performance Indicators 2003 STEEL (International Iron and Steel Institute, 2004)
Factor promedio global (65% BOF, 30% EAF, 5% OHF) (tonelada de CO ₂ por tonelada de acero producido)	1,06	Producción de acero: Consenso de expertos y IISI Environmental Performance Indicators 2003 STEEL (International Iron and Steel Institute, 2004)
Factor basado en datos internacionales de 2003, en los que los BOF daban cuenta de aproximadamente un 63 por ciento de la producción de acero al nivel mundial y los EAF de un 33 por ciento; los AHF daban cuenta del 4 por ciento restante, pero en la actualidad éste está disminuyendo.		
** El factor de emisión para la fabricación de acero en EAF no incluye las emisiones de la producción de hierro. Los factores de emisión para la fabricación de acero en BOF y OHF sí incluyen las emisiones de la producción de hierro en altos hornos.		
Nótese que en este cuadro, el factor de emisión de CO ₂ para la fabricación de acero en EAF se basa en la producción de acero a partir de chatarra metálica y, por lo tanto, el factor de emisión EAF no da cuenta de ninguna emisión de CO ₂ proveniente de la fabricación de hierro en alto horno. Por esto, el factor de emisión de CO ₂ de Nivel 1 para los EAF indicado aquí, no es aplicable a los EAF que usan arrabio como materia prima.		

El factor de emisión para la producción de pelets está basado en el Documento IPPC I&S BAT, el cual proporciona un intervalo para el factor de emisión que va de 15,6 a 31,8 kg. de CO₂ por tonelada de producto. Sin embargo, el factor de emisión de CO₂ para un proceso específico depende de las características de las materias primas y de los combustibles utilizados en el proceso. El factor de emisión podrá variar según el combustible primario que se utilice, ya sea carbón, gas natural o gas de horno de coque. El factor de emisión «por defecto» propuesto se sitúa en el extremo superior del intervalo, o sea, 30 kg. de CO₂ por tonelada de producto, y debe emplearse si el compilador del inventario desconoce todo acerca de los combustibles o materias primas que se han utilizado. Si el compilador del inventario sabe cuáles son las entradas utilizadas, las emisiones de CO₂ deben calcularse mediante el método de Nivel 2, dando cuenta del consumo de combustible, del poder calórico y del contenido de carbono del combustible.

Para los efectos de los cálculos de emisiones de Nivel 1, se supone que el combustible por defecto para la producción de hierro reducido directo es el gas natural. Los procesos basados en el gas natural dan cuenta de la mayor parte de la capacidad instalada para la producción de hierro reducido directo (DRI) a escala mundial, y un 63 por ciento de esta capacidad corresponde al proceso MIDREX. El consumo de combustible para la producción de hierro reducido directo mediante el proceso MIDREX es típicamente de 10,5 a 14,5 GJ de gas natural/tonelada métrica de DRI sólido, suponiendo una operación al 100 por ciento de mineral de hierro en bruto. Se ha declarado que el consumo de combustible para la producción de hierro briquetado en caliente a partir de finos de hierro es de 12,5 GJ de gas natural por tonelada de producto mediante el proceso FINMET y de 14 GJ de gas natural por tonelada de producto mediante el proceso CIRCORED. El consumo de energía por defecto de 12,5 GJ de gas natural por tonelada de DRI producido y el contenido de carbono por defecto del gas natural de 15,3 kg. de carbono por GJ de gas natural corresponden a un factor de emisión de CO₂ de 191,3 kg. de carbono por tonelada de DRI producido (0,7 toneladas de CO₂ por tonelada de DRI producido).

Factores de emisión para el metano

En el siguiente Cuadro 4.2 se proporcionan factores de emisión de CH₄ por defecto. El factor de emisión por defecto para el CH₄ de Nivel 1 proveniente de la producción de coque se ha derivado promediando los datos específicos de planta sobre emisiones de CH₄ declarados en el Documento IPPC I&S BAT para 11 plantas europeas de producción de coque. En el Documento IPPC I&S BAT, Cuadro 6.2 y Cuadro 6.3, las emisiones de CH₄ están declaradas en unidades de gramos de CH₄ por tonelada de acero líquido producido. Las emisiones de CH₄ declaradas varían en un intervalo de 27 a 32 gramos de CH₄ por tonelada de acero líquido. Basándose en estos factores de conversión, el promedio de las emisiones de CH₄ de las 11 plantas europeas de coque, es de 0,1 gramos de CH₄ por tonelada de coque producido.

El factor de emisión de CH₄ de Nivel 1 para la producción de sinterizado se ha derivado promediando los datos sobre emisiones de CH₄ específicos de planta declarados en la Guía de inventario de emisiones de *EMEP/CORINAIR* (EEA, 2005) para las plantas europeas de sinterizado y en otros informes de inventarios sobre emisiones. Las emisiones de CH₄ para las plantas de sinterizado y peletización están declaradas en el Cuadro 8.2a de la guía de inventario de emisiones de *EMEP/CORINAIR*. Para las plantas de sinterizado que usan cisco de coque, se ha declarado un factor de emisión de 50 mg de CH₄ por MJ y un intervalo de valores de entrada de coque que va de 38 a 55 kg. de coque por tonelada de sinterizado. Esto corresponde a un factor de emisión promedio de 0,07 kg. de CH₄ por tonelada de sinterizado, al usar un valor por defecto de 28,2 TJ/Gg de coque. Se ha declarado un factor de emisión de 0,05 kg. de CH₄ por tonelada de sinterizado para plantas de sinterizado que operan en Finlandia. (Pipatti, 2001)

CUADRO 4.2		
FACTORES POR DEFECTO DE EMISIÓN DE CH₄ DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE COQUE Y DE HIERRO Y ACERO		
Proceso	Factor de emisión	Fuente
Producción de coque	0,1 g por tonelada de coque producido	Producción de coque: European IPPC Bureau (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) <i>Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel</i> , diciembre de 2001, Cuadro 6.2-3, Página 122. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
Producción de sinterizado	0,07 kg. por tonelada de sinterizado producido	<i>EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook (EEA, 2005)</i> . Procesos con contacto: <i>Plantas de sinterizado y peletización: Sinter and Pelletizing Plants (Except Combustion 030301)</i> , Cuadro 8.2a, <i>Emission factors for gaseous compounds</i>
Producción de DRI	1 kg. /TJ (sobre una base calórica neta)	Factor de emisión por defecto del Volumen Energía para las Emisiones de CH ₄ de la combustión de gas natural. [Véase Cuadro 2.3 del Volumen 2, Capítulo 2.]

MÉTODO DE NIVEL 2

Debe utilizarse el contenido de carbono por defecto del Cuadro 4.3 si el compilador del inventario no posee información sobre las condiciones en las instalaciones de fabricación de hierro y acero y de producción de coque, pero posee datos detallados de la actividad sobre los materiales de proceso y sobre las transferencias fuera de la instalación. El método de Nivel 2, tal como está descrito en la Ecuación 4.2 para la producción integrada de coque, en las Ecuaciones 4.9 a 4.11 para la producción de hierro y acero y en la Ecuación 4.3 para la producción no integrada de coque, incluye los principales flujos de materiales de la fabricación de hierro y acero y de la producción de coque que dan lugar a emisiones. Los contenidos de carbono del Cuadro 4.3 se basan en los valores provistos en los Cuadros 1.2 y 1.3 del Volumen 2, Capítulo 1.

CUADRO 4.3	
CONTENIDO DE CARBONO ESPECÍFICO DE LOS MATERIALES PARA EL NIVEL 2 EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO Y DE COQUE (KG. DE C/KG.)	
Materiales de proceso	Contenido de carbono
Gas de alto horno	0,17
Carbón vegetal*	0,91
Carbón ¹	0,67
Alquitrán de hulla	0,62
Coque	0,83
Gas de horno de coque	0,47
Carbón coquizable	0,73
Hierro reducido directo (DRI)	0,02
Dolomita	0,13
Electrodos de carbono para EAF ²	0,82
Carbono de carga en el EAF ³	0,83
Fuelóleo ⁴	0,86

CUADRO 4.3
CONTENIDO DE CARBONO ESPECÍFICO DE LOS MATERIALES PARA EL NIVEL 2
EN LA PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO Y DE COQUE (KG. DE C/KG.)

Coque para gas	0,83
Hierro briquetado en caliente	0,02
Piedra caliza	0,12
Gas natural	0,73
Gas de horno de oxígeno para aceros	0,35
Coque de petróleo	0,87
Arrabio comprado	0,04
Chatarra de hierro	0,04
Acero	0,01

Fuente: Los valores por defecto son coherentes con los que se presentan en el Volumen 2 y han sido calculados según hipótesis indicadas más abajo. En los Cuadros 1.2 y 1.3 del Volumen 2, Capítulo 1, se dan referencias completas para los datos sobre contenido de carbono.

Notas:

¹ Otro carbón bituminoso supuesto

² Supuesto 80 por ciento de coque de petróleo y 20 por ciento de alquitrán de hulla

³ Supuesto coque de horno de coque

⁴ Supuesto gasóleo/combustible diésel

* La cantidad de emisiones de CO₂ a partir del carbón vegetal puede calcularse usando este valor de contenido de carbono, pero debe declararse como nula en los inventarios nacionales sobre gases de efecto invernadero. (Véase la Sección 1.2 del Volumen 1.)

MÉTODOS DE NIVEL 3

El método de Nivel 3 se basa en estimaciones agregadas de emisiones específicas de planta o en la aplicación de las ecuaciones del método de Nivel 2 al nivel específico de la planta. El compilador del inventario debe garantizar que cada instalación haya documentado los factores de emisión y los contenidos de carbono utilizados y que estos factores de emisión correspondan a los procesos y a los materiales utilizados en la instalación. Para el método de Nivel 3 se requieren los contenidos de carbono y los cuocientes de masa producción/consumo para todos los materiales de proceso y las transferencias fuera de la instalación, tales como las que se enumeran en el Cuadro 4.3. Aún cuando en el Cuadro 4.3 se proporcionan contenidos de carbono por defecto, para el Nivel 3 es una *buena práctica* ajustar estos valores para que reflejen las variaciones al nivel de la planta respecto de los valores por defecto representados en el cuadro. Los factores por defecto enumerados en el Cuadro 4.3 son apropiados para el método de Nivel 3 sólo si la información específica de la planta indica que corresponden a las condiciones reales. Se anticipa que para el método de Nivel 3, los datos específicos de la planta incluyen tanto los datos sobre los contenidos de carbono como los datos sobre los cuocientes de masa producción/consumo y que, en consecuencia, en la mayoría de los casos los valores por defecto del Cuadro 4.3 no serán aplicados al método de Nivel 3.

4.2.2.4 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

MÉTODO DE NIVEL 1

Para el método de Nivel 1 se requiere sólo la cantidad de acero producido por tipo de proceso en el país, la cantidad total de arrabio producido que no se convierte en acero y la cantidad total de coque, de hierro reducido directo, de pelets y de sinterizado producidos; en este caso, se supone que la cantidad total de coque se produce en instalaciones integradas de producción de coque. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de hierro y acero individuales. Si en un país sólo se dispone de datos agregados, debe usarse un factor de ponderación. La producción total de acero crudo se define como la salida total de lingotes utilizables, de productos semi acabados de moldeo en continuo y de acero líquido para moldeos.

MÉTODO DE NIVEL 2

Para el método de Nivel 2 se requiere la cantidad total de hierro y acero, de gas de horno de coque, de gas de alto horno y de materiales de proceso, tales como la piedra caliza, utilizados en el país para la producción de hierro y acero, de hierro reducido directo y de sinterizado, además de la cantidad total de la producción de coque in situ y fuera del sitio. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas

sobre fabricación o energía, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de hierro y acero individuales. Estas cantidades pueden multiplicarse entonces por el contenido de carbono por defecto apropiado, tomado del Cuadro 4.3, y sumarse para determinar el total de emisiones de CO₂ del sector. Sin embargo, se prefiere recolectar datos de la actividad al nivel de las plantas (Nivel 3). Si ésta no constituye una *categoría principal* y si no se dispone de datos sobre el total de agentes reductores y de materiales de proceso para todas las industrias, las emisiones pueden estimarse mediante el método de Nivel 1.

MÉTODO DE NIVEL 3

Para el método de Nivel 3 se requiere recopilar, compilar y agregar los datos específicos de las instalaciones sobre emisiones medidas y sobre los cocientes de masa producción/consumo y el contenido de carbono de los materiales de proceso. El método de Nivel 3 puede basarse en un método de equilibrio de masas específico de la planta (para las emisiones de CO₂) o en datos específicos de la planta obtenidos por monitoreo continuo y directo de las emisiones (tanto para las emisiones de CO₂ como para las de CH₄). El método de Nivel 3 puede requerir también de datos de la actividad recolectados al nivel de las plantas y agregados para los sectores. Los datos específicos de planta deben agregarse preferentemente a partir de datos suministrados por las compañías individuales de producción de hierro y acero y de coque. De esta manera, las cantidades de materiales de proceso se determinan más exactamente. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación o energía, o bien, de las asociaciones comerciales e industriales. Las cantidades apropiadas pueden multiplicarse entonces por los datos sobre contenido de carbono específicos de la instalación y sumarse para determinar el total de emisiones de CO₂ de los sectores; así, el total de las emisiones será más exacto que el obtenido mediante el método de Nivel 2. Este método permite también alcanzar una mayor exactitud al facilitar que las compañías individuales aporten datos específicos de planta más exactos y/o utilicen contenidos de carbono más pertinentes que pueden diferir de los factores por defecto empleados en el método de Nivel 2.

4.2.2.5 EXHAUSTIVIDAD

RELACIÓN CON EL SECTOR ENERGÍA

Al estimar las emisiones de esta categoría de fuente: producción de coque (Energía) y producción de hierro y acero (IPPU), existe un riesgo de cómputo doble o de omisión tanto en los Procesos industriales como en el Sector Energía. Puesto que la utilización primaria de las fuentes de carbono (donde predomina el coque, pero abarca también al carbón, el petróleo, el gas natural, la piedra caliza, etc.) corresponde a la producción de arrabio, las emisiones de CO₂ y CH₄ provenientes de la producción de hierro y acero, incluida la producción de sinterizado, se consideran emisiones de procesos industriales y deben declararse como tales. Las emisiones de CO₂ y CH₄ provenientes de la producción de coque (tanto el consumo de combustible como las pérdidas de conversión) se clasifican como producción de energía y deben declararse como tales. Sin embargo, en el caso de la producción integrada de hierro y acero con producción local de coque, puede haber flujos de productos derivados (p. ej., gas de horno de coque, gas de alto horno, productos derivados de horno de coque) entre la planta de producción de coque y la instalación de producción de hierro y acero, lo cual crea problemas de eventuales cómputos dobles. El carbono consumido en forma de gas de horno de coque en una planta de fabricación de hierro y acero y las emisiones de CO₂ y CH₄ resultantes deben categorizarse como emisiones IPPU y declararse como tales. El carbono consumido en forma de gas de alto horno en una planta local de producción de coque y las emisiones de CO₂ y CH₄ resultantes deben categorizarse como emisiones de Energía y declararse como tales. La identificación de estos flujos de carbono requiere un buen conocimiento del inventario en esa categoría de fuente.

Debido a la función dominante del coque, es importante considerar la existencia de la fabricación de coque en una instalación y definir los límites de un balance de carbono en una instalación de fabricación de hierro y acero, para cerciorarse de que las emisiones de CO₂ no sean contabilizadas por partida doble. Las emisiones de CO₂ y CH₄ asociadas con la fabricación de coque in situ y fuera del sitio deben declararse en el Sector Energía (véase el Volumen 2).

OTRAS FORMAS DE CARBONO

Aunque la manera dominante de producir hierro crudo o arrabio es mediante el uso del coque en un alto horno, se pueden emplear también otras formas de carbono (p. ej., carbón pulverizado, derivados del carbón, plásticos o neumáticos reciclados, gas natural o fuelóleo) para sustituir una fracción del coque en el alto horno. En estos casos, estos materiales deben contabilizarse como fuentes de carbono de proceso, al igual que el coque, y deben tomarse precauciones para restar estos materiales de cualquier estadística sobre energía que los incluya. El hierro puede producirse también en otros tipos de reactores de fabricación de hierro, aparte de los altos hornos, que utilizan a menudo gas natural o carbón en vez de coque; estas fuentes de carbono deben contabilizarse de la misma manera que el coque, pues sirven para los mismos propósitos.

En la mayoría de los altos hornos, el proceso de fabricación de hierro es asistido mediante el uso de flujos de carbonatos (piedra caliza o dolomita). Debido a que estos materiales son necesarios al proceso en tanto que materias primas, deben contabilizarse como parte del inventario sobre la fabricación de hierro y acero. Pero, se insiste otra vez, deben tomarse precauciones para no contabilizar por partida doble las emisiones asociadas con el uso de la piedra caliza y la dolomita, si éstas están contabilizadas por separado en el sector de los minerales. (Véase en este volumen, la Sección 2.5, Otros usos de los carbonatos en los procesos.)

SINTERIZADO

Algunas instalaciones integradas emplean también las plantas de sinterizado para convertir finos que contienen hierro en aglomerados (o sinterizados) para utilizarlos como materia prima en el alto horno. Típicamente, los finos de coque (o cisco de coque) se usan como combustible en el proceso de sinterización y constituyen fuentes de emisiones de CO₂ y CH₄. Si los finos de coque se producen en una planta de coque dentro de la instalación y las emisiones de CO₂ y CH₄ son contabilizadas en el carbón que ingresa en la planta, o bien, si el cisco de coque se contabiliza en cambio como coque comprado, las emisiones de CO₂ y CH₄ provenientes del coque utilizado en la sinterización no deben contabilizarse por partida doble. Las emisiones de la producción de sinterizado se categorizan como emisiones IPPU y deben declararse como tales.

GASES DE ESCAPE

Es importante no contabilizar por partida doble el uso de los gases de productos derivados de los altos hornos —tales como el gas de alto horno o las descargas gaseosas recuperadas de los BOF— ni como energía en el sector energía, ni en calidad de fuentes de CO₂, si han sido ya contabilizados como emisiones de procesos. Las emisiones de los procesos deben incluir todas las entradas de carbono al alto horno que se utilizan como agentes reductores primarios. En la situación de una típica planta totalmente integrada de coque y de hierro y acero, podrán necesitarse ajustes en los productos derivados del horno de coque y en el contenido de carbono del acero despachado para la venta, lo cual deberá mencionarse claramente en la descripción de las fuentes. En algunos casos, puede ser también necesario realizar ajustes para el gas de alto horno o para el hierro que pueda venderse o transferirse fuera de la planta. El flujo del proceso para los gases de escape se ilustra claramente en las Figuras 4.1 a 4.5.

CONSUMO DE ELECTRODOS

El consumo de electrodos para los hornos EAF alcanza los 3,5 kg./tonelada. Sin embargo, según las características de los materiales cargados, a los EAF se les puede añadir algo de carbono (típicamente, cerca de 20 kg./tonelada) para fines de control del proceso, o bien, éste puede estar contenido en los mismos materiales cargados en forma de sustitutos del hierro, una tendencia cada vez más frecuente. En estos casos, las emisiones de CO₂ y CH₄ de estos materiales con carbono adicional deben considerarse como relacionadas con el proceso y deben contabilizarse en el inventario, pues no es muy probable que su contenido de carbono haya sido contabilizado en algún otro lugar del inventario. Además, si se usa gas natural como agente reductor para optimizar las reacciones en un EAF, éste debe contabilizarse como fuente de carbono, puesto que todos los materiales de proceso utilizados en la fabricación de hierro y acero se declaran como emisiones del sector IPPU.

Una parte de la producción de aceros especiales se realiza en hornos eléctricos de inducción, en cuyo caso la carga es 100 por ciento chatarra de acero y no hay electrodos de carbono. En este proceso de fabricación de acero no hay emisiones apreciables de CO₂ ni de CH₄.

PROCESO OHF

Aunque los OHF ya no son de uso común, en algunos países puede ser necesario inventariar las emisiones de CO₂ y CH₄ provenientes de este tipo de proceso de fabricación de acero. Un horno de solera o de reverbero se carga típicamente, tanto con hierro fundido como con chatarra, como en el caso del BOF, y el oxígeno se inyecta en el horno; pero la reducción del carbono contenido en el hierro y en la fundición de la carga se obtiene también mediante la inyección de combustibles fósiles (p. ej., gas natural, fuelóleo, carbón o alquitrán) por encima de la superficie del baño de materias primas. El carbono del hierro puede ignorarse, como en el caso del BOF, pues ya se ha contabilizado como fuente de carbono para la fabricación de hierro. Con todo, el carbono de los combustibles utilizados en el horno de solera debe contabilizarse como emisión del sector IPPU.

4.2.2.6 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones de la producción de coque, la producción de sinterizado y la producción de hierro y acero deben calcularse mediante el mismo método para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método más riguroso aplicable a todos los años de la serie temporal, deben recalcularse los vacíos según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5, Coherencia de la serie temporal y repetición de los cálculos.

4.2.3 Evaluación de incertidumbre

Los factores de emisión por defecto para la producción de coque y de hierro y acero utilizados en el Nivel 1 pueden tener una incertidumbre de ± 25 por ciento. Se estima que los contenidos de carbono específicos de los materiales para el Nivel 2 poseen una incertidumbre del 10 por ciento. Cuando se dispone de datos sobre el contenido de carbono específico de la planta y sobre el cociente de masa, el error esperado en los factores de emisión de Nivel 3 es de un 5 por ciento. En el Cuadro 4.4 se presenta un panorama general sobre las incertidumbres asociadas a los factores de emisión, a los contenidos de carbono y a los datos de la actividad.

CUADRO 4.4 INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE		
Método	Fuente de los datos	Intervalo de incertidumbre
Nivel 1	Factores de emisión por defecto	$\pm 25\%$
	Datos nacionales de producción	$\pm 10\%$
Nivel 2	Contenidos de carbono específicos de los materiales, por defecto	$\pm 10\%$
	Datos nacionales sobre agentes reductores y materiales de proceso	$\pm 10\%$
Nivel 3	Derivado por la compañía = datos sobre materiales de proceso	$\pm 5\%$
	Datos sobre las mediciones de CO ₂ y CH ₄ específicos de la compañía	$\pm 5\%$
	Factores de emisión específicos de la compañía	$\pm 5\%$

Para el Nivel 1, el tipo de datos de la actividad más importante es la cantidad de acero producido mediante cada método. Las estadísticas nacionales deberían estar disponibles y tener una incertidumbre probable de ± 10 por ciento. Para el Nivel 2, la cantidad total de agentes reductores y de materiales de proceso utilizados en la producción de hierro y acero debería tener un error probable del 10 por ciento. En el Nivel 3 se requiere de información específica de la planta sobre las cantidades de agentes reductores y de materiales de procesos (alrededor de un 5 por ciento de incertidumbre). Por igual, en los datos sobre emisiones reales para el Nivel 3 la incertidumbre esperada es de ± 5 por ciento. La incertidumbre del Nivel 3 puede derivarse de una manera más exacta basándose en el análisis de los datos efectivamente recibidos.

4.2.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

4.2.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, Capítulo 6 y procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Además de la orientación del Volumen 1, se bosquejan a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Revisión de los factores de emisión y de los contenidos de carbono

Los compiladores del inventario deben comparar los factores de emisión y los contenidos de carbono agregados nacionalmente con los factores y contenidos de carbono por defecto del IPPC, con el fin de determinar si el valor nacional es razonable en relación con el factor por defecto del IPPC. Las diferencias entre los valores nacionales y los valores por defecto deben explicarse y documentarse, en particular si son representativos de circunstancias diferentes.

Verificación de los datos de actividad específicos de la planta

Para los datos específicos de la planta, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias entre plantas para establecer si éstas reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías.

Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de la actividad se determinen de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces la utilización de estas emisiones o datos de la actividad debe evaluarse cuidadosamente, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y documentarse las calificaciones. Es también posible que en los sitios donde están en vigor altos estándares de mediciones y de GC/CC, la incertidumbre en la estimación de emisiones sea revisada a la baja.

Revisión de expertos

En un proceso de revisión, los compiladores del inventario deben incluir las principales organizaciones industriales y comerciales relacionadas con la producción del hierro y del acero. Este proceso debe comenzar durante la etapa inicial del desarrollo del inventario, de modo que contribuya al desarrollo y la revisión de los métodos y a la adquisición de los datos.

Para esta categoría de fuente puede ser útil recurrir también a revisores independientes, particularmente en relación con la recopilación inicial de datos, el trabajo de medición, la transcripción, los cálculos y la documentación.

Verificación de los datos de la actividad

Para todos los niveles, los compiladores del inventario deben realizar verificaciones apoyándose en el Volumen 2, Capítulo 2 (Combustión estacionaria del Sector Energía), para garantizar que las emisiones provenientes de los agentes reductores y de los materiales de proceso (carbón, coque, gas natural, etc.) no sean contabilizadas por partida doble ni omitidas.

Los compiladores deben examinar toda incoherencia entre los datos de diferentes plantas para establecer si éstas reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Es particularmente pertinente para las estimaciones específicas de plantas sobre las cantidades de agentes reductores o sobre los contenidos de carbono declarados para los materiales de proceso.

Allí donde se disponga de datos comerciales sobre el consumo de materiales de proceso, los compiladores deben comparar la agregación de las estimaciones agregadas al nivel de plantas con los totales de la industria.

4.2.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

MÉTODO DE NIVEL 1

Además de declarar las emisiones estimadas, es una *buena práctica* declarar el total de la producción de acero por proceso y los factores de emisión correspondientes, así como declarar la cantidad de hierro producido que no se convierte en acero. Nótese que en el cuadro correspondiente, las emisiones declaradas son sólo una parte del total de emisiones del sector y que las emisiones de la producción de coque están categorizadas como emisiones de energía y declaradas en el Volumen 2, Capítulo 2, Combustión estacionaria del Sector Energía.

MÉTODOS DE NIVEL 2

Es una *buena práctica* documentar las emisiones estimadas o calculadas, todos los datos de la actividad con sus correspondientes factores de emisión, así como cualquier hipótesis o dato que justifique el uso de factores de emisión alternativos. Para las emisiones de la producción integrada de coque, debe darse una explicación clara sobre la vinculación con las estimaciones de la categoría de fuente 1A (Quema de combustibles), con el fin de demostrar que no se ha incurrido en el cómputo doble ni en omisiones.

MÉTODO DE NIVEL 3

Es una *buena práctica* documentar las emisiones calculadas y la fuente de todos los datos, tomando en cuenta la necesidad de proteger la confidencialidad de los datos para determinadas plantas si los datos son comercialmente sensibles o de una naturaleza relacionada con la propiedad industrial. Además, para todos los niveles, los

compiladores del inventario deben documentar toda la información necesaria para reproducir las estimaciones, así como los procedimientos de GC/CC.

4.3 PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES

4.3.1 Introducción

Ferroaleación es el término utilizado para describir las aleaciones concentradas de hierro con uno o más metales, tales como silicio, manganeso, cromo, molibdeno, vanadio y tungsteno. La producción de silicio metálico se incluye generalmente en el grupo de las ferroaleaciones pues el proceso de producción es bastante similar al proceso del ferrosilicio. Se utilizan estas aleaciones para desoxidar y modificar las propiedades materiales del acero. Las plantas de ferroaleaciones fabrican compuestos concentrados que se suministran a las plantas de producción de acero para incorporarlos a las aleaciones de acero. El silicio metálico se utiliza en las aleaciones de aluminio, para producir siliconas y en la electrónica. La producción de ferroaleaciones emplea un proceso de reducción metalúrgica que genera emisiones significativas de dióxido de carbono.

En la producción de ferroaleaciones, para obtener la reducción y la fundición, se mezclan y calientan a altas temperaturas el mineral bruto, los materiales con carbono y los materiales que producen escorias. Los agentes reductores carbonáceos son, por lo general, el carbón y el coque, pero el carbono biológico (carbón vegetal y madera) son utilizados también comúnmente como fuentes de carbono primarias o secundarias. Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) de la producción de coque se estiman en la Sección 4.2 y se declaran dentro del Sector Energía. Se emplean hornos de arco eléctrico sumergido con electrodos de grafito o electrodos Söderberg consumibles. El calor es producido por los arcos eléctricos y por la resistencia de los materiales de carga. Los hornos pueden ser abiertos, semi cubiertos o cubiertos. Una tecnología empleada comúnmente es la del horno abierto de arco eléctrico sumergido (EAF). En el EAF, realiza el calentamiento la corriente que pasa a través de los electrodos de grafito suspendidos de una armazón de acero en forma de cúpula con revestimientos refractarios alineados. La reducción de los óxidos metálicos por el carbono ocurre cuando se consumen el coque y los electrodos de grafito. El carbono de los electrodos captura el oxígeno de los óxidos metálicos para formar CO, al tiempo que los minerales se reducen en metales básicos fundidos. Los componentes metálicos se combinan entonces en la solución.

Además de las emisiones que se originan en los agentes reductores y en los electrodos, la calcinación de los flujos de carbonatos tales como la piedra caliza o la dolomita, si es el caso, también contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero.

Las emisiones primarias en los hornos de arco cubiertos consisten casi completamente en CO, por oposición al CO₂, debido a la intensidad del medio reductor. Este CO se emplea para producir energía en calderas, o bien se quema en antorcha. Se supone que la energía producida se utiliza internamente en la planta y que el contenido de carbono del CO se convierte ulteriormente en CO₂ dentro de la planta.

El gas CO producido en los hornos abiertos o semi cubiertos se quema en CO₂ por encima del nivel de la carga. Se supone que todo el CO que se emite hacia la atmósfera se convierte en CO₂ algunos días más tarde. Aunque el CO₂ es el principal gas de efecto invernadero generado por la producción de ferroaleaciones, investigaciones recientes han mostrado que el CH₄ y el N₂O dan cuenta de una emisión de efecto invernadero equivalente a hasta un 5 por ciento de las emisiones de CO₂ originadas en la producción de ferrosilicio (FeSi) y de silicio metálico (metal-Si). En esta sección se presentan metodologías para estimar las emisiones de CO₂ y CH₄. Deben investigarse estas emisiones mejor para la producción de ferroaleaciones y deben efectuarse más mediciones de estas emisiones para la producción de FeSi y de metal-Si.

4.3.2 Cuestiones metodológicas

4.3.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

METODOLOGÍA PARA EL CO₂

En las *Directrices del IPCC* se bosquejan varios métodos para calcular las emisiones de CO₂ generadas por la producción de las ferroaleaciones. Para lo efectos prácticos, en esta sección se adopta el método del equilibrio de masas, en el cual todo el CO emitido se declara como CO₂ emitido. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión del Figura 4.9. En el método de Nivel 1, las emisiones se calculan a partir de los factores de emisión generales que se aplican a la producción total de ferroaleaciones de un país. El método de Nivel 1 es muy simple y puede conducir a errores debido a que depende de hipótesis en vez de basarse en datos efectivos. Por lo tanto, es apropiado sólo cuando la producción de ferroaleaciones no es una *categoría principal*. En el método de Nivel 2, las emisiones se calculan a partir del consumo conocido de agentes reductores, obtenido preferentemente de los datos sobre consumos específicos de

las plantas o, en su defecto, de datos globales de la industria mediante el empleo de factores de emisión similares a los que se utilizan para estimar las emisiones de la combustión. El método de Nivel 3 se basa en datos específicos de las plantas relativos a las emisiones.

Método de Nivel 1: factores de emisión basados en la producción

El método de estimación más simple consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por el tipo de ferroaleación, como se muestra en la Ecuación 4.15.

ECUACIÓN 4.15
EMISIONES DE CO₂ PARA LA PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES POR EL MÉTODO DE NIVEL 1

$$E_{CO_2} = \sum_i (MP_i \cdot EF_i)$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂, toneladas

MP_i = producción de la ferroaleación de tipo i , toneladas

EF_i = factor de emisión de CO₂ genérico para la ferroaleación i , toneladas de CO₂/tonelada de ferroaleación producida

Método de Nivel 2: factores de emisión basados en la producción, específicos de las materias primas

Un método alternativo es el de usar factores de emisión para los agentes reductores. Para las demás materias primas y productos deben considerarse los contenidos de carbono.

RECUADRO 4.1
DEFINICIONES DE LOS TÉRMINOS Y/O SÍMBOLOS UTILIZADOS EN LAS ECUACIONES DE ESTA SECCIÓN

Contenido significa fracción de peso, en todas las ecuaciones

Σ significa la suma sobre todos los índices i, h, j, k o l

ECUACIÓN 4.16
EMISIONES DE CO₂ PARA LA PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES POR EL MÉTODO DE NIVEL 2

$$E_{CO_2} = \sum_i (M_{agente\ reductor,i} \cdot EF_{agente\ reductor,i}) + \sum_h (M_{mineral,h} \cdot CContenido_{mineral,h}) \cdot \frac{44}{12}$$

$$+ \sum_j (M_{material\ de\ escorificación,j} \cdot CContenido_{material\ de\ escorificación,j}) \cdot \frac{44}{12}$$

$$- \sum_k (M_{producto,k} \cdot CContenido_{producto,k}) \cdot \frac{44}{12}$$

$$- \sum_l (M_{corriente\ de\ salida\ no\ producto,l} \cdot CContenido_{corriente\ de\ salida\ no\ producto,l}) \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ originadas por la producción de ferroaleaciones, toneladas

$M_{agente\ reductor,i}$ = masa del agente reductor i , toneladas

$EF_{agente\ reductor,i}$ = factor de emisión del agente reductor i , toneladas de CO₂/tonelada de agente reductor

$M_{mineral,h}$ = masa del mineral h , toneladas

$CContenido_{mineral,h}$ = contenido de carbono del mineral h , toneladas de C/tonelada de mineral

$M_{material\ de\ escorificación,j}$ = masa del material de escorificación j , toneladas

$CContenido_{material\ de\ escorificación,j}$ = contenido de carbono del material de escorificación j , toneladas de C/tonelada de material

$M_{\text{producto}, k}$ = masa del producto k , toneladas

$C\text{Contenido}_{\text{producto}, h}$ = contenido de carbono del producto k , toneladas de C/tonelada de producto

$M_{\text{corriente de salida no producto}, l}$ = masa de la corriente de salida no producto l , toneladas

$C\text{Contenido}_{\text{corriente de salida no producto}, l}$ = contenido de carbono de la corriente de salida no producto l , toneladas de C/tonelada

La constante 44/12 es el factor de multiplicación para la masa de CO₂ emitido por cada unidad de masa del total de carbono utilizado.

Método de Nivel 3: cálculos basados en las cantidades y en los análisis de los agentes reductores

Los productores utilizan carbón y coque con diferentes contenidos de cenizas, carbono fijo y compuestos volátiles. Más aún, las cantidades de carbono varían en los minerales carbonatados y en los materiales de escorificación. El método más exacto es, por lo tanto, calcular las emisiones de CO₂ a partir de la cantidad total de carbono contenida en los agentes reductores, la pasta de electrodos, los minerales, los materiales de escorificación y los productos, y se realiza este cálculo para cada ferroaleación producida.

ECUACIÓN 4.17
EMISIONES DE CO₂ PARA LA PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES POR EL MÉTODO DE NIVEL 3

$$E_{CO_2} = \sum_i (M_{\text{agente reductor}, i} \cdot C\text{Contenido}_{\text{agente reductor}, i}) \cdot \frac{44}{12} + \sum_h (M_{\text{mineral}, h} \cdot C\text{Contenido}_{\text{mineral}, h}) \cdot \frac{44}{12} + \sum_j (M_{\text{material de escorificación}, j} \cdot C\text{Contenido}_{\text{material de escorificación}, j}) \cdot \frac{44}{12} - \sum_k (M_{\text{producto}, k} \cdot C\text{Contenido}_{\text{producto}, k}) \cdot \frac{44}{12} - \sum_l (M_{\text{corriente de salida no producto}, l} \cdot C\text{Contenido}_{\text{corriente de salida no producto}, l}) \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ originadas por la producción de ferroaleaciones, toneladas

$M_{\text{agente reductor}, i}$ = masa del agente reductor i , toneladas

$C\text{Contenido}_{\text{agente reductor}, i}$ = contenido de carbono del agente reductor i , toneladas de C/tonelada de agente reductor

$M_{\text{mineral}, h}$ = masa del mineral h , toneladas

$C\text{Contenido}_{\text{mineral}, h}$ = contenido de carbono del mineral h , toneladas de C/tonelada de mineral

$M_{\text{material de escorificación}, j}$ = masa del material de escorificación j , toneladas

$C\text{Contenido}_{\text{material de escorificación}, j}$ = contenido de carbono del material de escorificación j , toneladas de C/tonelada de material

$M_{\text{producto}, k}$ = masa del producto k , toneladas

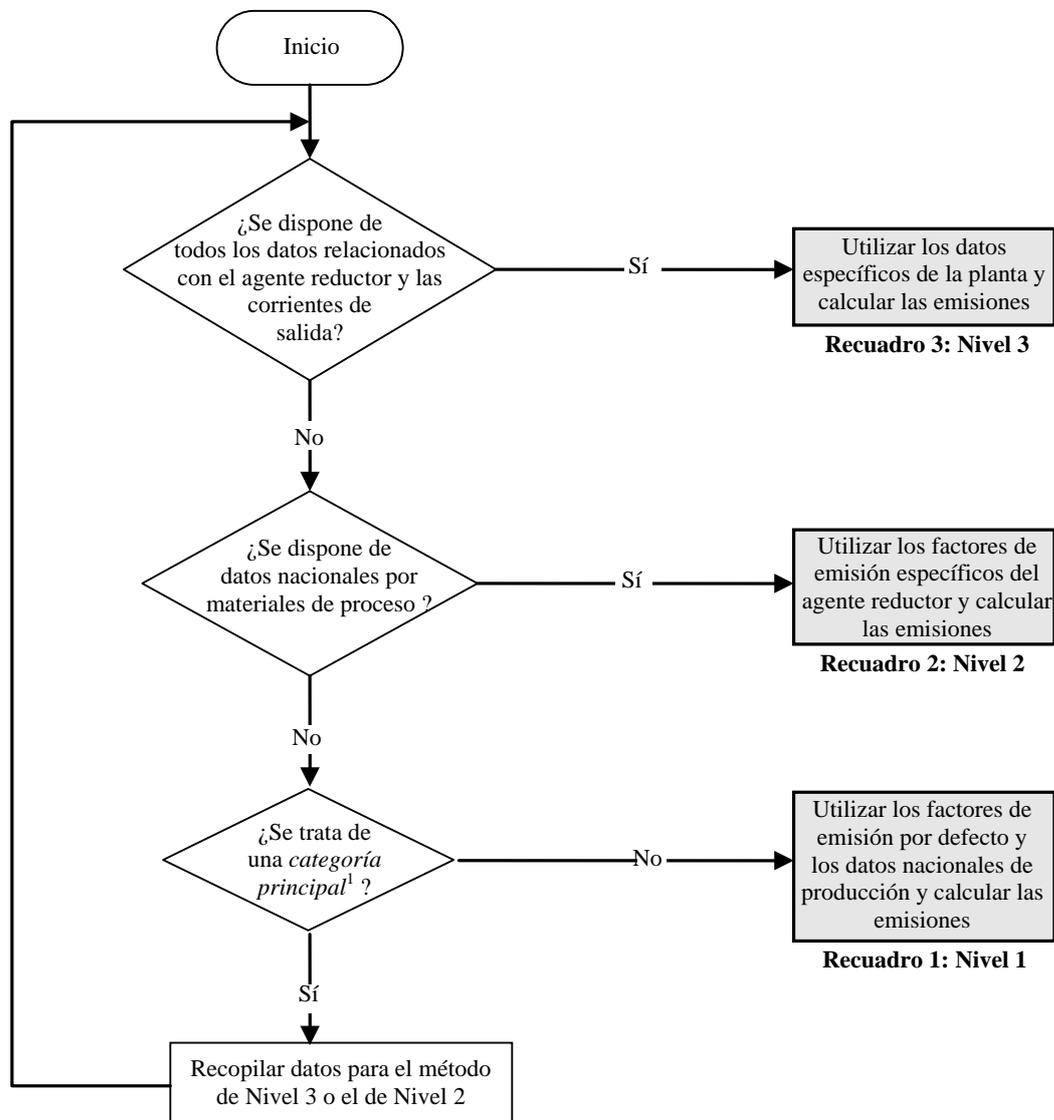
$C\text{Contenido}_{\text{producto}, h}$ = contenido de carbono del producto k , toneladas de C/tonelada de producto

$M_{\text{corriente de salida no producto}, l}$ = masa de la corriente de salida no producto l , toneladas

$C\text{Contenido}_{\text{corriente de salida no producto}, l}$ = contenido de carbono de la corriente de salida no producto l , toneladas de C/tonelada

La constante 44/12 es el factor de multiplicación para la masa de CO₂ emitido por cada unidad de masa del total de carbono utilizado. El cálculo ofrece una buena exactitud si se dispone de los análisis sobre el total del carbono contenido en todos los agentes reductores.

Figura 4.9 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de ferroaleaciones**



Nota:

1. Para un análisis de las categorías principales y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

METODOLOGÍA PARA EL CH₄ Y ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE N₂O

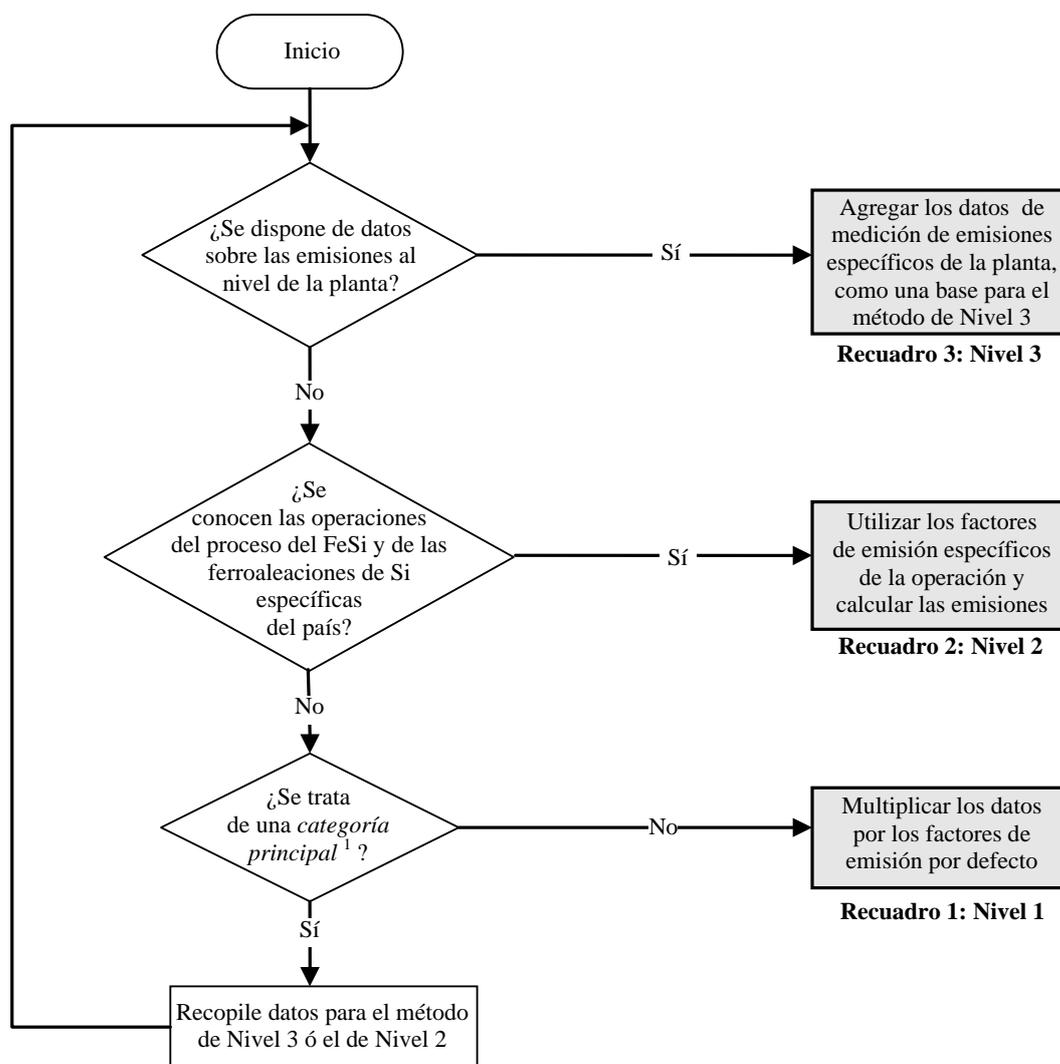
El calentamiento de los materiales carbonáceos en el horno libera compuestos volátiles, incluido el metano. En los hornos abiertos o parcialmente cubiertos —que predominan en la **producción de ferroaleaciones FeSi y Si**— la mayoría de los compuestos volátiles se queman por encima de la carga y generan CO₂, en la campana extractora y en los conductos de evacuación de las descargas gaseosas, pero algunos permanecen sin reaccionar, como el CH₄ y los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM). Las cantidades dependen de la operación en el horno. La carga por pulverización reduce las cantidades de CH₄ comparada con la carga por lotes. El aumento de la temperatura en la campana de extracción (con menos aire parásito) reduce aún más el contenido de CH₄.

En las *Directrices del IPCC* se bosquejan varios métodos para calcular las emisiones de CH₄ generadas por la producción de las ferroaleaciones FeSi y Si. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión de la Figura 4.10. En el método de Nivel 1,

las emisiones se calculan a partir de factores de emisión generales que se aplican a la producción total de ferroaleaciones de un país. El método de Nivel 1 es muy simple y puede conducir a errores debido al hecho de que depende de hipótesis en vez de apoyarse en datos reales. Por ello, sólo debe emplearse cuando la producción de ferroaleaciones no es una *categoría principal*. En el método de Nivel 2, las emisiones se calculan a partir de los factores de emisión específicos de la operación. En el método de Nivel 3 se utilizan datos sobre emisiones específico de la instalación.

Los errores asociados con las estimaciones o con las mediciones de las emisiones de N₂O generadas por la industria de las ferroaleaciones son muy grandes y, por lo tanto, no se proporciona ninguna metodología.

Figura 4.10 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CH₄ provenientes de la producción de aleaciones de FeSi y Si**



Nota:

1. Para un análisis de las categorías principales y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

Método de Nivel 1: factores de emisión basados en la producción de aleaciones de FeSi y Si

El método de estimación más simple consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por el tipo de aleación de Si.

El total de emisiones se calcula según:

ECUACIÓN 4.18
EMISIONES DE CH₄ PARA LA PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES POR EL MÉTODO DE NIVEL 1

$$E_{CH_4} = \sum_i (MP_i \cdot EF_i)$$

Donde:

E_{CH₄} = emisiones de CH₄, kg.

MP_i = producción de la aleación de Si *i*, toneladas

EF_i = factor de emisión genérico para la aleación de Si *i*, kg. de CH₄/tonelada de aleación de Si producida específica

Método de Nivel 2: factores de emisión basados en la producción de aleaciones de FeSi y Si, específicos de la operación

El método de Nivel 2 también está basado en factores de emisión pero, a diferencia del método de Nivel 1, éstos son específicos de la operación.

Método de Nivel 3: mediciones directas

Se exhorta a los compiladores del inventario a medir las emisiones de CH₄, allí donde la industria de las ferroaleaciones constituye una *categoría principal*.

4.3.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

FACTORES DE EMISIÓN PARA EL CO₂

Método de Nivel 1: factores de emisión basados en la producción

Cuando los únicos datos disponibles sean las estadísticas sobre la producción nacional de ferroaleaciones, es una *buena práctica* utilizar los factores de emisión por defecto. Sin embargo, debido a una amplia disparidad en los factores, que dependen del tipo de producción de ferroaleaciones, es necesario determinar cuánto tonelaje se produce y con qué método, para luego sumar el producto de los factores presentados en el Cuadro 4.5 y los tonelajes apropiados de producción. Estos factores se basan en el dictamen de expertos, donde se ha recurrido a las prácticas típicas para las situaciones de producción de ferroaleaciones enumeradas. Estos factores no pueden utilizarse si en la producción de FeSi y de metal-Si se emplea carbono biogénico, con excepción de las virutas de madera.

CUADRO 4.5 FACTORES GENÉRICOS DE EMISIÓN DE CO₂ PARA LA PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES (TONELADAS DE CO₂/TONELADA DE PRODUCTO)	
Tipo de ferroaleación	Factor de emisión
Ferrosilicio 45% Si	2,5
Ferrosilicio 65 % Si	3,6
Ferrosilicio 75% Si	4,0
Ferrosilicio 90% Si	4,8
Ferromanganesos (7% C)	1,3
Ferromanganesos (1% C)	1,5
Silicomanganeso	1,4
Metal silicio	5,0
Ferrocromo	1,3 (1,6 con una planta de sinterizado)
Fuente: IPCC (1997), IPCC (2000), Olsen (2004) and Lindstad (2004)	

Estos factores de emisión por defecto han sido evaluados por Olsen (2004) para las aleaciones de manganeso, por Lindstad (2004) para las de silicio y por Olsen, Monsen y Lindstad (1998) para el FeCr.

Para las aleaciones de FeMn, los factores de emisión se basan en la producción, donde las materias primas que contienen Mn son una mezcla de minerales de óxidos, minerales carbonatados y sinterizado de Mn importado. Si el sinterizado se produce en el extranjero, no aporta nada al inventario nacional sobre gases de efecto invernadero. Las emisiones de la producción de sinterizado deben declararse allí donde tenga lugar la producción.

El factor para el FeSi90 y el metal-Si está basado en un consumo Fijo C de 110 por ciento de la cantidad estequiométrica necesaria para reducir el SiO₂. Para las demás aleaciones de FeSi, el factor se basa en un 114 por ciento de la cantidad estequiométrica de Fijo C.

Método de Nivel 2: factores de emisión específicos de las materias primas, basados en la producción

En el Cuadro 4.6 se proporcionan los factores de emisión para los agentes reductores utilizados en la producción de aleaciones de manganeso y de silicio. Los factores han sido evaluados por Olsen (2004) para la producción de aleaciones de manganeso y por Lidstad (2004) para la producción de aleaciones de silicio.

CUADRO 4.6 FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ PARA LA PRODUCCIÓN DE FERROALEACIONES ()	
Agente reductor (uso)	Factor de emisión
Carbón (para FeSi y metal-Si)	3,1
Carbón (para otras ferroaleaciones)	* (véase más abajo)
Coque (para FeMn y SiMn)	3,2-3,3
Coque (para Si y FeSi)	3,3-3,4
Coque (para otras ferroaleaciones)	* (véase más abajo)
Electrodos precocidos	3,54
Pasta de electrodos	3,4
Coque de petróleo	3,5
*: Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar valores específicos del productor basados en la mezcla de carbón promedio y/o el coque para cada productor de ferroaleaciones. Fuente: Olsen (2004), Lindstad (2004)	

Método de Nivel 3: cálculos basados en las cantidades y en los análisis de los agentes reductores

Para el método de Nivel 3, es necesario determinar el contenido de carbono de los agentes reductores empleados en los procesos de producción. Pero la mayoría de los productores de ferroaleaciones analizan solamente sobre la base del porcentaje de cenizas y compuestos volátiles, y calculan:

$$\text{Fijo C \%} = 100 \% - \% \text{ de cenizas} - \% \text{ de volátiles.}$$

En este caso, el CContenido de los agentes reductores se calcula mediante la ecuación siguiente.

<p>ECUACIÓN 4.19</p> <p>CONTENIDO DE CARBONO DE LOS AGENTES REDUCTORES DE FERROALEACIONES</p> $C_{\text{Contenido agente reductor},i} = F_{\text{FijoC},i} + F_{\text{volátiles},i} \cdot C_v$
--

Donde:

$C_{\text{Contenido agente reductor},i}$ = contenido de carbono del agente reductor i , toneladas de C/tonelada de agente reductor

$F_{\text{FijoC},i}$ = fracción de masa de Fijo C en el agente reductor i , toneladas de C/ tonelada de agente reductor

$F_{\text{volátiles},i}$ = fracción de masa de compuestos volátiles en el agente reductor i , toneladas de volátiles/ tonelada de agente reductor

C_v = contenido de carbono de los compuestos volátiles, toneladas de C/tonelada de volátiles
 (A menos que se disponga de otra información, se utiliza $C_v = 0,65$ para el carbón y $0,80$ para el coque.)

FACTORES DE EMISIÓN PARA EL CH₄

Método de Nivel 1: factores de emisión basados en la producción de aleaciones de FeSi y Si

Cuando los únicos datos disponibles sean las estadísticas sobre la producción nacional de ferroaleaciones, es una *buena práctica* utilizar los factores de emisión por defecto. Sin embargo, debido a una amplia disparidad en los factores, que dependen del tipo de producción de ferroaleaciones, es necesario determinar cuánto tonelaje se produce y con qué método, para luego sumar el producto de los factores presentados en el Cuadro 4.7 por los tonelajes apropiados de producción. Los factores de emisión por defecto para el CH₄ se basan en los promedios de un pequeño número de mediciones específicas de las operaciones (que se muestran en el Cuadro 4.7 para el Nivel 2) efectuadas por SINTF y DNC principalmente en 1995 y 1998 (FFF (2000)).

CUADRO 4.7 FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA EL CH ₄ (kg. de CH ₄ /tonelada de producto)		
Emisión	Aleación	Factor de emisión
CH ₄	Metal-Si	1,2
	FeSi 90	1,1
	FeSi 75	1,0
	FeSi 65	1,0

Fuente: FFF (2000)

Método de Nivel 2: factores de emisión basados en la producción de aleaciones de FeSi y Si, específicos de la operación

El método de Nivel 2 también se basa en factores de emisión pero, a diferencia del método de Nivel 1, éstos son específicos de la operación. Por lo demás, el procedimiento es el mismo que el de la Ecuación 4.18, utilizando los valores del Cuadro 4.8.

CUADRO 4.8 FACTORES DE EMISIÓN PARA EL CH ₄ (kg. de CH ₄ /tonelada de producto)				
Emisión	Aleación	Operación en el horno		
		Carga por lotes	Carga por pulverización ¹⁾	Carga por pulverización y >750°C ²⁾
CH ₄	Metal-Si	1,5	1,2	0,7
	FeSi 90	1,4	1,1	0,6
	FeSi 75	1,3	1,0	0,5
	FeSi 65	1,3	1,0	0,5

¹ La carga por pulverización es una carga intermitente cada minuto.
² Temperatura en el conducto de evacuación de las descargas gaseosas, medida donde la termocupla no esté expuesta directamente a la radiación de combustión de la campana extractora del horno.

Método de Nivel 3: Mediciones directas

El Nivel 3 se basa en mediciones en vez de en factores de emisión El compilador del inventario debe consultar la orientación sobre las mediciones al nivel de plantas presentada en el Volumen 1, Capítulo 2 y sobre el proceso de GC/CC de las mediciones en el volumen 1, Capítulo 6.

4.3.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

MÉTODO DE NIVEL 1

Para el método de Nivel 3 se requiere solamente la cantidad de ferroaleaciones producidas en el país, por tipo de producto. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de ferroaleaciones individuales. Para estimar las emisiones del sector, estos tonelajes pueden entonces multiplicarse por los factores de emisión correspondientes del Cuadro 4.5, para el CO₂ y del Cuadro 4.7, para el CH₄.

MÉTODO DE NIVEL 2

Para el método de Nivel 2 se requiere la cantidad total de agentes reductores y de otros materiales de proceso empleados para la producción de ferroaleaciones en el país, así como del conocimiento de los procesos utilizados. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de ferroaleaciones individuales. Estas cantidades pueden entonces multiplicarse por el factor genérico de emisión apropiado, tomado de los Cuadros 4.6 y 4.8, y sumarse para determinar el total de emisiones de CO₂ y CH₄ del sector. Sin embargo, es preferible recopilar datos de la actividad al nivel de las plantas.

MÉTODO DE NIVEL 3

Para el método de Nivel 3 se requiere recolectar, compilar y agregar datos sobre emisiones específicas de la planta. Es posible que estos datos se obtengan directamente de las compañías.

4.3.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Al estimar las emisiones de CO₂ provenientes de esta categoría de fuente, existe un riesgo de cómputo doble o de omisión tanto en el Sector Procesos industriales como en el Sector Energía. Dado que el uso principal de las fuentes de carbono (carbón, coque, piedra caliza, dolomita, etc.) es para producir ferroaleaciones, las emisiones se consideran emisiones de procesos industriales y deben declararse como tales. Se debe recordar que el riesgo del cómputo doble es particularmente elevado para el método de Nivel 1. Toda desviación al declarar emisiones como provenientes de un proceso industrial debe mencionarse explícitamente en el inventario y debe efectuarse una verificación de cómputo doble y/o de exhaustividad.

4.3.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones originadas por la producción de ferroaleaciones deben calcularse utilizando el mismo método para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método de Nivel 3 para todos los años de la serie temporal, deben recalcularse los vacíos según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

4.3.3 Evaluación de la incertidumbre

Las incertidumbres en la producción de ferroaleaciones resultan esencialmente de las incertidumbres asociadas con los datos de la actividad y, en menor medida, de la incertidumbre relacionada con el factor de emisión. Aunque algunas ferroaleaciones se producen usando madera u otra biomasa como fuente de carbono, no se dispone de información ni de datos relacionados con estas prácticas. Las emisiones de las ferroaleaciones producidas con madera u otra biomasa no deben contabilizarse bajo esta fuente pues el carbono contenido en la madera es de origen biogénico. Las emisiones de las ferroaleaciones producidas mediante entradas de carbón coquizable o de grafito podrían contabilizarse en las tendencias nacionales, pero pueden producir cantidades diferentes de CO₂ por unidad de ferroaleación producida, en comparación con el uso del coque de petróleo.

4.3.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Para el Nivel 3, en los datos sobre emisiones reales la incertidumbre esperada es inferior al 5 por ciento. Para el Nivel 2, en los factores de emisión específicos de los materiales el error esperado es del orden del 10 por ciento, lo cual representa una incertidumbre general menor que para el Nivel 1. El error esperado en los factores de emisión está dentro del 10 por ciento o menor que un 5 por ciento, si se dispone de datos sobre los contenidos de carbono específicos de la planta. Los factores de emisión por defecto empleados en el Nivel 1 pueden presentar una incertidumbre del 25 al 50 por ciento.

4.3.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Para el Nivel 1, el tipo de datos de la actividad más importante es la cantidad de ferroaleaciones producidas por tipo de producto. Las estadísticas nacionales deben estar disponibles y tener una incertidumbre probable inferior al 5 por ciento. En el Nivel 2, cuando se dispone de información específica de la planta sobre las cantidades de agentes reductores y de materiales de procesos como los que se aplican al Nivel 2, la incertidumbre no debería exceder el 5 por ciento.

CUADRO 4.9 INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE		
Método	Fuente de los datos	Intervalo de incertidumbre
Nivel 1	Datos nacionales de producción	< 5%
	Factores de emisión por defecto	< 25 %
Nivel 2	Agentes reductores y Materiales de procesos derivados por las compañías	< 5%
	Datos nacionales sobre Agentes reductores y Materiales de proceso	< 5%
	Factores de emisión específicos de las compañías	< 5%
	Factores de emisión por defecto específicos de los materiales	< 10%
Nivel 3	Datos sobre las mediciones de CO ₂ específicos de la compañía	< 5%

4.3.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

4.3.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las planteadas en el Volumen 1, Capítulo 6 y procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificados en el Volumen 1, Capítulo 4.

Además de la orientación del Volumen 1, se plantean a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Revisión de los factores de emisión

Los compiladores del inventario deben comparar los factores de emisión agregados nacionalmente con los factores por defecto del IPPC con el fin de determinar si el factor nacional es razonable en relación con el factor por defecto del IPPC. Las diferencias entre los factores nacionales y los factores por defecto deben explicarse y documentarse, en particular si son representativas de circunstancias diferentes.

Verificación de los datos de actividad específicos de la instalación

Para los datos específicos de la planta, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias entre plantas para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Para la producción de ferroaleaciones, los compiladores deben comparar los datos de la planta con los de otras plantas.

Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de la actividad se determinen de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces la utilización de estas emisiones o datos de actividad debe evaluarse cuidadosamente, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones. Es también posible que en los sitios donde están en vigor parámetros altos de medición y de GC/CC, la incertidumbre en la estimación de emisiones sea revisada a la baja.

Revisión de expertos

Los compiladores del inventario deben incluir en el proceso de revisión las principales organizaciones industriales y comerciales relacionadas con la producción de ferroaleaciones. Este proceso debe comenzar durante la etapa inicial del desarrollo del inventario, de modo que contribuya al desarrollo y a la revisión de los métodos y a la adquisición de los datos.

Para esta categoría de fuente puede ser útil recurrir también a revisores independientes, particularmente en relación con la recopilación inicial de datos, el trabajo de medición, la transcripción, los cálculos y la documentación.

Verificación de los datos de actividad

Para todos los niveles, los compiladores deben realizar verificaciones apoyándose en el Volumen 2, Capítulo 2(Combustión estacionaria del Sector Energía), para garantizar que las emisiones provenientes de los agentes reductores y de los materiales de proceso (carbón, coque, gas natural, etc.) no sean contabilizadas por partida doble ni omitidas.

Los compiladores deben examinar toda incoherencia entre los datos de diferentes plantas para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Esto es particularmente pertinente para las estimaciones específicas de plantas sobre las cantidades de agentes reductores o sobre los contenidos de carbono declarados para los materiales de proceso.

Allí donde se disponga de datos comerciales sobre el consumo de materiales de proceso, los compiladores del inventario deben comparar la agregación de las estimaciones al nivel de plantas con los totales de la industria.

4.3.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

MÉTODO DE NIVEL 1

Además de declarar las estimaciones de emisiones, es una *buena práctica* declarar la producción total de ferroaleaciones por proceso y los correspondientes factores de emisión utilizados. Nótese que en el cuadro correspondiente, las emisiones declaradas son sólo una parte del total de emisiones del sector y que el resto se declara en otros lugares del Volumen 2, Capítulo 2, Combustión estacionaria del Sector Energía.

MÉTODOS DE NIVEL 2

Es una *buena práctica* documentar las emisiones estimadas o calculadas, todos los datos de la actividad con sus correspondientes factores de emisión, así como cualquier hipótesis o dato que justifique el uso de factores de emisión alternativos. Debe darse una explicación clara sobre la vinculación con las estimaciones del Subsector Quema de combustibles, con el fin de demostrar que no se ha incurrido en cálculos dobles ni en omisiones.

MÉTODO DE NIVEL 3

Es una *buena práctica* documentar las emisiones calculadas y la fuente de todos los datos, tomando en cuenta la necesidad de proteger la confidencialidad de los datos para determinadas plantas si los datos son comercialmente sensibles o de una naturaleza relacionada con la propiedad industrial. Además, para todos los niveles, los compiladores del inventario deben documentar toda la información necesaria para reproducir las estimaciones, así como los procedimientos de GC/CC.

4.4 PRODUCCIÓN PRIMARIA DEL ALUMINIO

4.4.1 Introducción

Esta sección cubre las emisiones de proceso generadas por la producción primaria de aluminio². Al nivel mundial, el aluminio primario se produce exclusivamente mediante el proceso electrolítico Hall-Heroult. En este proceso, las celdas electrolíticas de reducción difieren en la forma y en la configuración del ánodo de carbono y del sistema de alimentación de la alúmina, y pertenecen a uno de los cuatro tipos de tecnología: de ánodo precocido central (CWPB, del inglés, *Centre-Worked Prebake*)³, de ánodo precocido lateral (SWPB, del inglés, *Side-Worked Prebake*), Søderberg a barra horizontal (HSS, del inglés, *Horizontal Stud Søderberg*) y Søderberg a barra vertical (VSS, del inglés, en *Vertical Stud Søderberg*).

Las emisiones de proceso más significativas son:

Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el consumo de los ánodos de carbono en la reacción que convierte el óxido de aluminio en aluminio metálico;

Emisiones de perfluorocarbonos (PFC) de CF₄ and C₂F₆ generadas durante los efectos de ánodo.

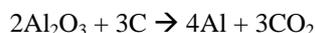
Se emiten también cantidades más pequeñas de emisiones de proceso de CO, SO₂ y COVDM. El SF₆ no se emite durante el proceso electrolítico y se emplea sólo muy raramente en el proceso de fabricación del aluminio, cuando se emiten reducidas cantidades, al adicionar fundente a las aleaciones especiales de magnesio y aluminio⁴.

Los árboles de decisión de las Figuras 4.11 y 4.12 proporcionan orientación para seleccionar una metodología de estimación de las emisiones generadas por la producción de aluminio. Todos los compiladores del inventario de los países donde haya producción de aluminio deben ser capaces de implementar el método de Nivel 1 a un mínimo nivel y, por lo mismo, garantizar la exhaustividad de los informes producidos. Aunque en este capítulo se presentan factores de emisión por defecto, tanto para las emisiones de CO₂ y como para las emisiones de PFC, los países deben realizar todos los esfuerzos necesarios para utilizar los métodos de Nivel superior, pues los índices de emisión pueden variar considerablemente y las incertidumbres asociadas con los factores de Nivel 1 son muy altas. Los fundidores de aluminio recolectan rutinariamente los datos de proceso necesarios para los cálculos de los factores de emisión de Nivel 2.

4.4.2 Cuestiones metodológicas

4.4.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO PARA LAS EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA DE ALUMINIO

En condiciones normales de operación, el aluminio se produce en el cátodo y el carbono se consume en el ánodo mediante la reacción de reducción electrolítica:



La mayor parte de las emisiones de dióxido de carbono proceden de la reacción de electrólisis del ánodo del carbono con la alúmina (Al₂O₃). El consumo de ánodos de carbono precocidos y de pasta de Søderberg es la

² Las emisiones generadas por la combustión de combustibles fósiles asociada con la producción primaria del aluminio, la extracción de la bauxita, la refinación del mineral de bauxita y la producción de aluminio a partir de fuentes de reciclado, están cubiertas en el Volumen 2: Energía. Por igual, las emisiones de dióxido de carbono asociadas con la producción de electricidad a partir de la quema de combustibles fósiles para producir aluminio, están cubiertas también en el Volumen 2.

³ Incluidas las celdas precocidas con alimentación puntual (*Point Feed Prebake*) y las celdas de barra precocida fragmentada (*Bar Broken Prebake*).

⁴ Una encuesta del IAI de 2004 no encontró pruebas de que el SF₆ fuera emitido en la fundición de aluminio primario realizada mediante el proceso de producción electrolítico Hall-Heroult.

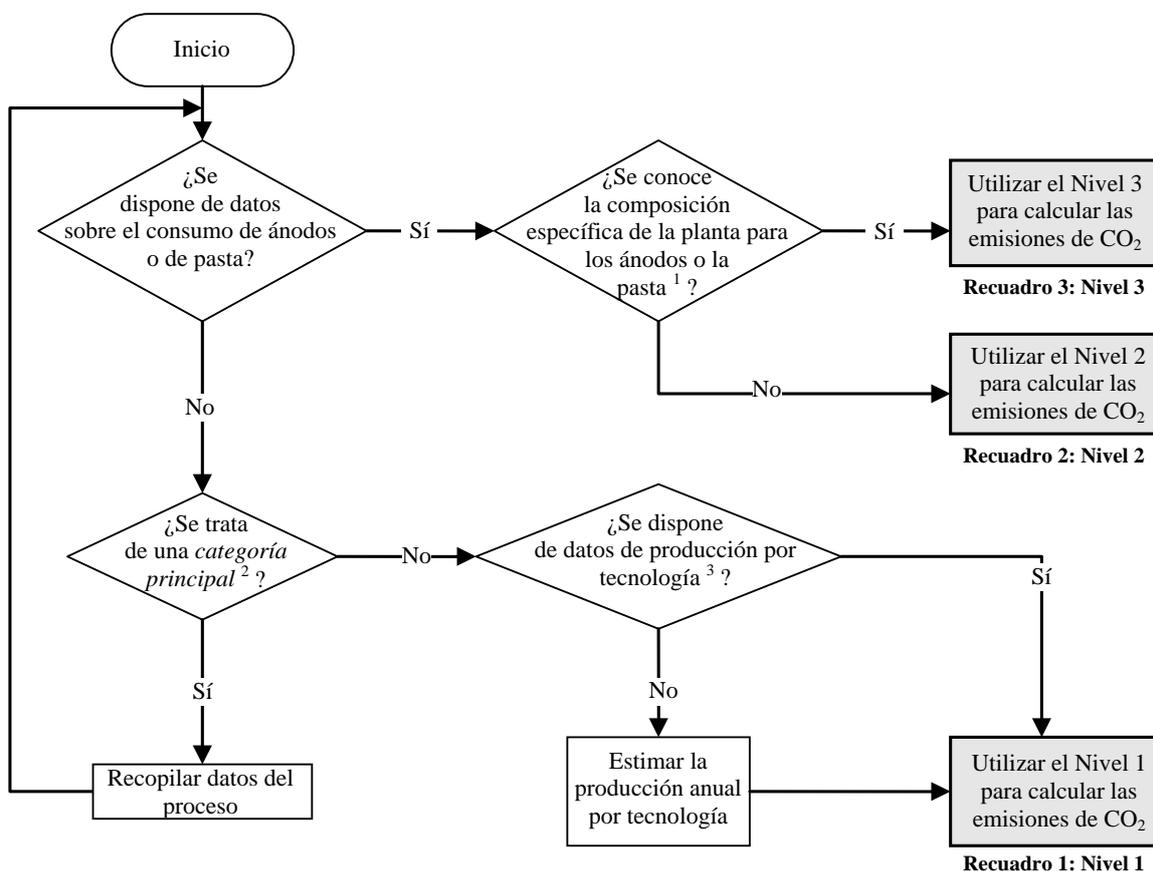
principal fuente de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con el proceso generadas por la producción de aluminio primario. Otras fuentes de emisiones de dióxido de carbono relacionadas con el proceso asociadas al cocido de los ánodos precocidos dan cuenta de menos del 10 por ciento de las emisiones no energéticas de dióxido de carbono.

Las reacciones que conducen a las emisiones de dióxido de carbono son bien conocidas y las emisiones están muy bien vinculadas al tonelaje de aluminio producido a través de las ecuaciones electroquímicas fundamentales para la reducción de la alúmina en un ánodo de carbono y para la oxidación por medio de procesos térmicos. Estos dos procesos fundamentales que producen dióxido de carbono están incluidos en los procedimientos rutinarios de monitoreo de los parámetros de proceso que se efectúan en las instalaciones de producción: el consumo neto de ánodos de carbono en las instalaciones con ánodo precocido o el consumo de pasta de ánodo en las instalaciones de tipo Söderberg.

Para el cálculo de las emisiones de CO₂, se requiere una diferenciación de los datos de producción por tipo de tecnología: Söderberg o de ánodo precocido. No es necesario diferenciar más finamente respecto del tipo específico de tecnología Söderberg o de ánodo precocido.

El árbol de decisión presentado en la Figura 4.11 describe la *buena práctica* al escoger la metodología de inventario para el CO₂ más apropiada para las circunstancias nacionales.

Figura 4.11 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de aluminio primario**



Nota:

1. Véase Instituto Internacional del Aluminio, *The Aluminium Sector Greenhouse Gas Protocol*, 2005.
2. Para un análisis de las categorías principales y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).
3. Para el cálculo de las emisiones de CO₂, los datos de la producción requieren la diferenciación de las tecnologías como Söderberg o precocido. No es necesario diferenciar más en términos de tipo de tecnología Söderberg o de precocido.

Método de Nivel 1 para las emisiones de CO₂

En el método de Nivel 1, para calcular las emisiones de CO₂ sólo se utilizan caracterizaciones amplias de la tecnología de las celdas (ánodo precocido o Söderberg), a título de estimaciones de orden inferior para las

emisiones de CO₂ emanadas de la producción de aluminio. Dada la incertidumbre asociada al método de Nivel 1, es una *buen práctica* emplear métodos de nivel superior si las emisiones de CO₂ del aluminio primario corresponden a una *categoría principal*.

El total de emisiones de CO₂ se calcula según la Ecuación 4.20.

ECUACIÓN 4.20
EMISIONES DE CO₂ DE PROCESO DEL CONSUMO DE ÁNODOS Y/O PASTA DE ÁNODOS
(MÉTODOS DE NIVEL 1)

$$E_{CO_2} = EF_P \cdot MP_P + EF_S \cdot MP_S$$

Donde:

E_{CO₂} = emisiones de CO₂ originadas en el consumo de ánodos y/o pasta de ánodos, toneladas de CO₂

EF_P = factor de emisión específico de la tecnología de precocidos, (toneladas de CO₂/tonelada de *aluminio* producido)

MP_P = producción de metal del proceso de ánodos precocidos (toneladas de Al)

EF_S = factor de emisión específico de la tecnología Sørderberg, (toneladas de CO₂/tonelada de aluminio producido)

MP_S = producción de metal del proceso Sørderberg (toneladas de Al)

Métodos de Nivel 2 o Nivel 3 para las emisiones de CO₂

Tanto para el proceso de ánodos precocidos como para el proceso Sørderberg, las emisiones de CO₂ se calculan mediante el método del equilibrio de masas, en el cual se supone que el contenido de carbono del consumo neto de ánodos o de pasta de ánodos se emite en última instancia como CO₂. En el método de Nivel 2, tanto para el proceso de ánodos precocidos como para el proceso Sørderberg se emplean valores industriales típicos para las impurezas, mientras que en el método de Nivel 3 se emplean las concentraciones de impurezas reales. La elección entre el método de Nivel 2 y el de Nivel 3 depende de los datos disponibles sobre la composición de los ánodos o de la pasta de ánodos al nivel de las plantas individuales.

Emisiones de CO₂ originadas en las celdas de ánodos precocidos (CWPB y SWPB):

En los métodos de Nivel 2 y 3, las emisiones de CO₂ originadas en las celdas de ánodos precocidos se calculan según la Ecuación 4.21. En el Nivel 3, se requieren datos específicos de las operaciones para todos los componentes de la Ecuación 4.21, mientras que el Nivel 2 se basa en valores por defecto para los mismos componentes. Más abajo, en la Sección 4.4.2.2 se proporcionan más detalles sobre el uso de estos parámetros.

ECUACIÓN 4.21
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DEL CONSUMO DE ÁNODOS PRECOCIDOS
(MÉTODOS DE NIVEL 2 Y NIVEL 3)

$$E_{CO_2} = NAC \cdot MP \cdot \frac{100 - S_a - Ceniza_a}{100} \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

E_{CO₂} = emisiones de CO₂ generadas por el consumo de ánodos precocidos, toneladas de CO₂

MP = producción total de metal, toneladas de Al

NAC = consumo neto de ánodos precocidos por tonelada de aluminio, toneladas de C/tonelada de Al

S_a = contenido de azufre en los ánodos precocidos, % del peso

Ceniza_a = contenido de ceniza en los ánodos precocidos, % del peso

44/12 = masa molecular del CO₂: razón de masa atómica del carbono, adimensional

Debe aplicarse la Ecuación 4.21 a cada fundidor de ánodos precocidos del país y los resultados deben sumarse para obtener el total de las emisiones nacionales. Es posible emplear un método híbrido de Nivel 2/3 si no se dispone de datos sobre el contenido de azufre o de ceniza para cada fundidor.

Las emisiones provenientes de la quema de combustibles fósiles utilizada en la producción de ánodos precocidos están cubiertas en el Volumen 2: Energía. Sin embargo, otras dos fuentes de emisiones de CO₂ están asociadas

con los hornos de precocido: la combustión de materias volátiles liberadas durante la operación de cocido y la combustión del material de compactado del horno de precocido (coque). Las Ecuaciones 4.22 y 4.23 pueden utilizarse para el cálculo de tales emisiones.⁵

ECUACIÓN 4.22
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA COMBUSTIÓN DE VOLÁTILES DE BREA
(MÉTODOS DE NIVEL 2 Y NIVEL 3)

$$E_{CO_2} = (GA - H_w - BA - WT) \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ generadas por la combustión de volátiles de brea, toneladas de CO₂

GA = peso inicial de los ánodos verdes, toneladas

H_w = contenido de hidrógeno en los ánodos verdes, toneladas

BA = producción de ánodos cocidos, toneladas

WT = alquitrán de desecho recolectado, toneladas

ECUACIÓN 4.23
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DEL MATERIAL DE COMPACTADO DE LOS HORNOS DE
PRECOCIDO
(MÉTODOS DE NIVEL 2 Y NIVEL 3)

$$E_{CO_2} = PCC \cdot BA \cdot \frac{100 - S_{pc} - Ceniza_{pc}}{100} \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ generadas por el material de compactado del horno de precocido, toneladas de CO₂

PCC = consumo de coque para compactado, toneladas/tonelada de BA

BA = producción de ánodos cocidos, toneladas

S_{pc} = contenido de azufre en el coque para compactado, % del peso

$Ceniza_{pc}$ = contenido de ceniza en el coque para compactado, % del peso

Emisiones de CO₂ originadas en las celdas Söderberg (VSS y HSS):

En los métodos de Nivel 2 y 3, las emisiones de CO₂ originadas en las celdas Söderberg se calculan según la Ecuación 4.24. En el Nivel 3, se requieren datos específicos de la planta en operaciones para todos los componentes de la Ecuación 4.24, mientras que el Nivel 2 se basa en valores por defecto para algunos componentes. Más abajo, en la Sección 4.4.2.2 se proporcionan más detalles sobre los parámetros que deben emplearse:

⁵ Para mayor información sobre la aplicación de estas ecuaciones para estimar las emisiones de la combustión de materias volátiles, véase el Protocolo de gases de efecto invernadero de IAI (IAI, 2005a).

ECUACIÓN 4.24⁶
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DEL CONSUMO DE PASTA DE ÁNODOS
(METODOS DE NIVEL 2 Y NIVEL 3)

$$E_{CO_2} = \left(PC \cdot MP - \frac{CSM \cdot MP}{1000} - \frac{BC}{100} \cdot PC \cdot MP \cdot \frac{S_p + Ceniza_p + H_p}{100} - \frac{100 - BC}{100} \cdot PC \cdot MP \cdot \frac{S_c + Ceniza_c}{100} - MP \cdot CD \right) \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ generadas por el consumo de pasta de ánodos, toneladas de CO₂

MP = producción total de metal, toneladas de Al

PC = consumo de pasta de ánodos, toneladas/tonelada de Al

CSM = emisiones de materia soluble en ciclohexano, kg./tonelada de Al

BC = contenido de aglomerante en la pasta de ánodos, % del peso

S_p = contenido de azufre en la brea, % del peso

$Ceniza_p$ = contenido de ceniza en la brea, % del peso

H_p = contenido de hidrógeno en la brea, % del peso

S_c = contenido de azufre en el coque calcinado, % del peso

$Ceniza_c$ = contenido de ceniza en el coque calcinado, % del peso

CD = carbono contenido en el polvo espumado de las celdas Söderberg, toneladas de C/tonelada de Al

44/12 = masa molecular del CO₂; razón de masa atómica del carbono, adimensional

La Ecuación 4.24 debe aplicarse a cada fundidor que utilice el proceso Söderberg en el país y los resultados deben sumarse para obtener el total de las emisiones nacionales. Es posible emplear un método híbrido de Nivel 2/3 si no se dispone de datos sobre el contenido de azufre o de ceniza para cada fundidor.

4.4.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN PARA LAS EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO PRIMARIO

Método de Nivel 1 para las emisiones de CO₂

En el Cuadro 4.10 se enumeran los factores de emisión por defecto para el CO₂ por tonelada de aluminio. Los factores de emisión de 1,6 y de 1,7 para las tecnologías de ánodos precocidos y Söderberg se basan en los datos del estudio mundial del *Instituto Internacional del Aluminio* (IAI, del inglés, *International Aluminium Institute*) (*Life Cycle Assessment of Aluminium*, 2000).

⁶ Un método alternativo aceptable es el de utilizar el parámetro de «coquización de la brea», en vez de deducir valores medidos o por defecto para S_p , H_p , $Ceniza_p$ y CSM de la Ecuación 4.24. El valor de coquización de la brea es un parámetro determinado generalmente para muchas instalaciones con celdas Söderberg y en ASTM D2416 se describe una metodología estándar para efectuar la prueba de coquización de la brea.

CUADRO 4.10		
FACTORES DE EMISIÓN DE NIVEL 1 ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA PARA CALCULAR LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO GENERADAS POR EL CONSUMO DE ÁNODOS O DE PASTA DE ÁNODOS		
Tecnología	Factor de emisión (toneladas de CO₂/tonelada de Al)	Incertidumbre (+/-%)
Ánodos precocidos ⁷	1,6	10
Søderberg	1,7	10

Fuente: Instituto Internacional del Aluminio, *Life Cycle Assessment of Aluminium* (IAI, 2000).

Factores de emisión de Nivel 2 y 3 para las emisiones de CO₂

Emisiones de CO₂ originadas en las celdas de ánodos precocidos (CWPB y SWPB):

Los factores más significativos de la Ecuación 4.21 son la producción de metal y el consumo neto de ánodos para la tecnología de ánodos precocidos. Estos dos parámetros deben recopilarse en las plantas operacionales individuales para utilizarlos con el Nivel 2 o Nivel 3. Los otros términos de la ecuación efectúan ajustes menores para los componentes no carbonáceos de los ánodos (por ejemplo, azufre y ceniza) y, por lo tanto, no son críticos. El Nivel 3 está basado en el uso de datos específicos de las instalaciones para estos componentes menores, mientras que el método de Nivel 2 está basado en los valores por defecto enumerados en los Cuadros 4.11 a 4.13. El Nivel 3 mejora la exactitud de los resultados, pero no se espera que esta mejora sobrepase el 5 por ciento. Dada su importancia económica, por lo general las instalaciones de producción de aluminio primario registran el carbono consumido por tonelada de aluminio producido. Las plantas que utilizan celdas de ánodos precocidos se refieren a este consumo como «consumo neto de ánodos o consumo neto de carbono» y las que usan las celdas Søderberg lo designan «consumo de pasta de ánodos».

CUADRO 4.11				
FUENTES DE LOS DATOS E INCERTIDUMBRES PARA LOS PARÁMETROS UTILIZADOS EN LOS MÉTODOS DE NIVEL 2 O 3 PARA LAS EMISIONES DE CO₂ DE LAS CELDAS DE ÁNODOS PRECOCIDOS (CWPB Y SWPB), VÉASE ECUACIÓN 4.21				
Parámetro	Método de Nivel 2		Método de Nivel 3	
	Fuente de los datos	Incertidumbre (+/-%)	Fuente de los datos	Incertidumbre (+/-%)
MP: producción total de metal (<i>toneladas de aluminio por año</i>)	Registros de las instalaciones individuales	2	Registros de las instalaciones individuales	2
NAC: NAC = consumo neto de ánodos por tonelada de aluminio (<i>toneladas por tonelada de Al</i>)	Registros de las instalaciones individuales	5	Registros de las instalaciones individuales	5
S _a : S _a = contenido de azufre en los ánodos precocidos (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 2	50	Registros de las instalaciones individuales	10
Ceniza _a : contenido de ceniza en los ánodos cocidos (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 0,4	85	Registros de las instalaciones individuales	10

Fuente: IAI (2005b).

⁷ El factor de emisión para las celdas de ánodos precocidos incluye las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión de volátiles de brea y del coque para compactado durante el cocido de los ánodos.

CUADRO 4.12
FUENTES DE LOS DATOS E INCERTIDUMBRES PARA LOS PARÁMETROS UTILIZADOS EN LOS MÉTODOS DE NIVEL 2 O 3 PARA LAS EMISIONES DE CO₂ GENERADAS POR LA COMBUSTIÓN DE VOLÁTILES DE BREA (CWPB Y SWPB), VÉASE LA ECUACIÓN 4.22

Parámetro	Método de Nivel 2		Método de Nivel 3	
	Fuente de los datos	Incertidumbre (+/-%)	Fuente de los datos	Incertidumbre (+/-%)
GA: peso inicial de los ánodos verdes procesados (<i>toneladas de ánodos verdes por año</i>)	Registros de las instalaciones individuales	2	Registros de las instalaciones individuales	2
H _w : contenido de hidrógeno en los ánodos verdes (<i>toneladas</i>)	Utilizar valor industrial típico, 0,005 • GA	50	Registros de las instalaciones individuales	10
BA: producción de ánodos cocidos (<i>toneladas por año</i>)	Registros de las instalaciones individuales	2	Registros de las instalaciones individuales	2
WT: alquitrán de desecho recolectado (<i>toneladas</i>) a) Hornos Riedhammer b) Todos los demás hornos	Utilizar valor industrial típico, a) 0,005 • GA b) insignificant e	50	Registros de las instalaciones individuales	20

Fuente: IAI (2005b).

CUADRO 4.13
FUENTES DE LOS DATOS E INCERTIDUMBRES PARA LOS PARÁMETROS UTILIZADOS EN LOS MÉTODOS DE NIVEL 2 O 3 PARA LAS EMISIONES DE CO₂ GENERADAS POR EL MATERIAL DE COMPACTADO DEL HORNO DE PRECOCIDO (CWPB Y SWPB), VÉASE LA ECUACIÓN 4.23

Parámetro	Método de Nivel 2		Método de Nivel 3	
	Fuente de los datos	Incertidumbre (+/-%)	Fuente de los datos	Incertidumbre (+/-%)
PCC: consumo de coque para compactado (<i>toneladas por tonelada de BA</i>)	Utilizar valor industrial típico, 0,015	25	Registros de las instalaciones individuales	2
BA: producción de ánodos cocidos (<i>toneladas por año</i>)	Registros de las instalaciones individuales	2	Registros de las instalaciones individuales	2
S _{pc} : contenido de azufre en el coque para compactado (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 2	50	Registros de las instalaciones individuales	10
Ceniza _{pc} : contenido de ceniza en el coque de compactado (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 2,5	95	Registros de las instalaciones individuales	10

Fuente: IAI (2005b).

Emisiones de CO₂ originadas en las celdas Søderberg (VSS y HSS):

El contenido de aglomerante en la pasta, BC, varía típicamente en menos del 1 por ciento y forma parte del funcionamiento por instalación. Es un término importante de la Ecuación 4.24 porque el contenido de carbono de la brea, que es un aglomerante, es menor que el del coque, el cual compone el resto de la pasta. Se ha señalado anteriormente que para el consumo de ánodos precocidos, los componentes más importantes de la Ecuación 4.24 son la producción de metal y el consumo de pasta. Los demás términos de la Ecuación 4.24 introducen pequeñas correcciones basadas en las impurezas y en diferencias menores en el contenido de carbono de los materiales. El método de Nivel 3 está basado en el uso de datos operacionales específicos de las instalaciones para estos componentes menores, mientras que el método de Nivel 2 está basado en los valores por defecto enumerados en el Cuadro 4.14. El Nivel 3 mejora la exactitud de los resultados; sin embargo, es probable que el impacto sobre los resultados sea inferior a un 5 por ciento.

CUADRO 4.14
FUENTES DE LOS DATOS E INCERTIDUMBRES PARA LOS PARÁMETROS UTILIZADOS EN LOS MÉTODOS DE NIVEL 2 O 3
PARA LAS EMISIONES DE CO₂ GENERADAS POR LAS CELDAS SØDERBERG (VSS Y HSS)

Parámetro	Método de Nivel 2		Método de Nivel 3	
	Fuente de los datos	Incertidumbre en los datos (+/-%)	Fuente de los datos	Incertidumbre en los datos (+/-%)
MP: producción total de metal (<i>toneladas de aluminio por año</i>)	Registros de las instalaciones individuales	2	Registros de las instalaciones individuales	2
PC : consumo de pasta (<i>toneladas por tonelada de Al</i>)	Registros de las instalaciones individuales	2-5	Registros de las instalaciones individuales	2-5
CSM: emisiones de materia soluble en ciclohexano (<i>kg. por tonelada de Al</i>)	Utilizar valor industrial típico, HSS – 4,0 VSS – 0,5	30	Registros de las instalaciones individuales	15
BC: contenido de aglomerante en la pasta (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, Pasta seca – 24 Pasta húmeda – 27	25	Registros de las instalaciones individuales	5
S _p : contenido de azufre en la brea (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 0,6	20	Registros de las instalaciones individuales	10
Ceniza _p : contenido de ceniza en la brea (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 0,2	20	Registros de las instalaciones individuales	10
H _p : contenido de hidrógeno en la brea (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 3,3	50	Registros de las instalaciones individuales	10
S _c : contenido de azufre en el coque calcinado (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 1,9	20	Registros de las instalaciones individuales	10
Ceniza _c : contenido de ceniza en el coque calcinado (<i>% del peso</i>)	Utilizar valor industrial típico, 0,2	50	Registros de las instalaciones individuales	10
CD: carbono en el polvo del ánodo (<i>toneladas de carbono por tonelada de Al</i>)	Utilizar valor industrial típico, 0,01	99	Registros de las instalaciones individuales	30

4.4.2.3 ELECCIÓN DEL MÉTODO PARA LOS PFC

Durante la electrólisis, la alúmina se disuelve en un fundido de fluoruro que contiene alrededor de un 80 por ciento de su peso en criolita . Los perfluorocarbonos (CF₄ y C₂F₆, denominados colectivamente PFC) se forman a partir de la reacción del ánodo de carbono con el fundido de criolita durante una situación de perturbación del proceso conocida como «efecto anódico». El efecto anódico ocurre cuando la concentración de alúmina en el electrolito es demasiado baja para sostener la reacción de ánodo estándar.

RECUADRO 4.2
DESCRIPCIÓN DEL EFECTO ANÓDICO

Un efecto anódico es una condición de perturbación del proceso en la cual una cantidad insuficiente de alúmina se disuelve en el electrolito, y provoca un aumento de la tensión por encima del intervalo de funcionamiento normal, lo cual se traduce en la emisión de gases que contienen PFC.

Para los PFC, tanto el Nivel 2 como el Nivel 3 están basados en datos de proceso específicos de las plantas sobre los efectos anódicos, los cuales se recopilan regularmente. Al escoger un método para los PFC, debe notarse que la incertidumbre asociada con las metodologías de nivel superior es significativamente inferior que para el Nivel

1, por lo cual se recomienda fuertemente usar el Nivel 2 y el Nivel 3 si se trata de una *categoría principal*. Según el tipo de tecnología de producción, la incertidumbre de los métodos para los PFC varía en un intervalo que va de los varios cientos por ciento para el método Nivel 1, hasta menos de veinte por ciento para el método de Nivel 3. Para el inventario de los PFC, debe utilizarse la metodología de Nivel 3 con coeficientes de pendiente o de sobre tensión calculados a partir de datos sobre mediciones obtenidas mediante buenas prácticas de medición (U.S. EPA e IAI, 2003). La comunicación con los productores de aluminio primario permite determinar la disponibilidad de los datos de proceso, los cuales determinan, a su vez, el método que habrá de emplearse para calcular las emisiones.

En las plantas, el rendimiento del efecto anódico se mide rutinariamente en términos de minutos por día de uso de la celda o en términos de sobre tensión de efecto anódico.

Las emisiones de PFC están directamente relacionadas con el rendimiento del efecto anódico a través de un coeficiente, ya sea el coeficiente de pendiente o de sobre tensión.

El árbol de decisión presentado en la Figura 4.12 describe la *buena práctica* al escoger la metodología de inventario para los PFC más apropiada para las circunstancias nacionales. En el caso de las instalaciones altamente eficientes que emiten muy pequeñas cantidades de PFC, es probable que, en comparación con el método de Nivel 2, el método de Nivel 3 no aporte una mejora significativa al inventario general de gases de efecto invernadero de la instalación.⁸ En consecuencia, es una *buena práctica* identificar estas instalaciones antes de seleccionar los métodos, con miras a priorizar los recursos. Los parámetros que identifican a estas instalaciones de alta eficiencia dependen del tipo de datos de proceso que se recolectan en la instalación. Las instalaciones de alta eficiencia son las que operan con menos de 0,2 minutos de efecto anódico por día-celda, para el caso en que se midan los minutos de efecto anódico. Cuando se registra la sobre tensión, las instalaciones de alta eficiencia operan con menos de 1,4 mV de sobre tensión. Además, en estas instalaciones de alta eficiencia resulta difícil medir con exactitud el coeficiente para los PFC de Nivel 3, pues la bajísima frecuencia de los efectos anódicos requiere de un largo tiempo para obtener resultados estadísticamente sólidos. La calificación de una instalación como instalación de alta eficiencia debe evaluarse anualmente debido a factores económicos, tales como los arranques repetidos de las líneas de producción luego de un período de inactividad, o bien, debido a factores de proceso, tales como los periodos de interrupción energética que pueden provocar aumentos temporales de la frecuencia del efecto anódico. Además, las instalaciones que pueden no cumplir inicialmente con los requisitos de alta eficiencia, con el tiempo pueden adquirir la calificación de instalaciones de alta eficiencia, a través de la implementación de nuevas tecnologías o mejorando las prácticas de trabajo. Nótese que en todos los casos, la aplicación de Niveles diferentes para años diferentes reexige la implementación cuidadosa con el fin de garantizar la coherencia de la serie temporal.

Para todas las demás plantas, es preferible aplicar el método de Nivel 3, pues los coeficientes específicos de planta conducirán a estimaciones más exactas. Si no se han realizado mediciones de los PFC para determinar un coeficiente específico de planta, se puede emplear el método de Nivel 2, hasta que las mediciones hayan sido efectuadas y que los coeficientes de Nivel 3 hayan sido establecidos. Los países pueden utilizar una combinación de los métodos de Nivel 2 y 3, según el tipo de datos disponibles en cada planta.

Método de Nivel 1: uso de factores de emisión por defecto basados en la tecnología

El método de Nivel 1 utiliza factores de emisión por defecto basados en la tecnología para los cuatro tipos principales de producción (CWPB, SWPB, VSS y HSS). El total de emisiones de PFC se calcula según la Ecuación 4.25. El nivel de incertidumbre del método de Nivel 1 es mucho mayor porque el rendimiento del efecto anódico de una instalación individual, que es el determinante principal de los efectos de ánodo y, por ende, de las emisiones de PFC, no se toma en cuenta directamente. El Nivel 1 puede ser coherente con la *buen*

⁸ Los niveles de los parámetros de proceso que definen a las instalaciones como de alta eficiencia para las emisiones de PFC, son el resultado combinado de la magnitud y de la incertidumbre en el coeficiente de Nivel 2. Los niveles se calculan utilizando los extremos positivos y negativos del límite de 95% de confianza para el coeficiente de Nivel 2, como sustituto del intervalo de valores probables de los coeficientes de Nivel 3 para estas instalaciones. La diferencia eventual se establece luego para las emisiones globales de gases de efecto invernadero desde una planta de producción, considerando a la vez las emisiones de PFC y de CO₂. Cuando las instalaciones operan con parámetros de proceso a niveles de efecto anódico inferiores o iguales a los señalados para las instalaciones de alta eficiencia, el impacto de un cambio del método de Nivel 2 al método de Nivel 3 para los PFC no produce un cambio superior al 5% en las emisiones de gases de efecto invernadero ponderadas en función de su potencial de calentamiento atmosférico. Según los datos del estudio del IAI 2004 sobre el efecto anódico, las emisiones de PFC desde las instalaciones de alta eficiencia dan cuenta de menos del 3% de las emisiones mundiales de PFC.

práctica sólo cuando los PFC generados por la producción de aluminio primario no constituyen una *categoría principal* y cuando no se dispone de datos pertinentes de las instalaciones en funcionamiento.

ECUACIÓN 4.25
EMISIONES DE PFC (MÉTODO DE NIVEL 1)

$$E_{CF_4} = \sum_i (EF_{CF_4,i} \cdot MP_i)$$

$$E_{C_2F_6} = \sum_i^y (EF_{C_2F_6,i} \cdot MP_i)$$

Donde:

E_{CF_4} = emisiones de CF_4 generadas por la producción de aluminio, kg. de CF_4

$E_{C_2F_6}$ = emisiones de C_2F_6 generadas por la producción de aluminio, kg. de C_2F_6

$EF_{CF_4,i}$ = factor de emisión por defecto por tipo de tecnología de celda i para el CF_4 , kg. de CF_4 /tonelada de Al

$EF_{C_2F_6,i}$ = factor de emisión por defecto por tipo de tecnología de celda i para el C_2F_6 , kg. de C_2F_6 /tonelada de Al

MP_i = producción de metal por tipo de tecnología de celda i , toneladas de Al

Métodos de Nivel 2 y 3: basados en el rendimiento del efecto anódico

Existen dos ecuaciones diferentes para estimar las emisiones de CF_4 para una planta individual y ambas se basan en la relación existente entre el efecto anódico y el rendimiento. Éstas son: la ecuación del coeficiente de pendiente y la ecuación del coeficiente de sobre tensión. Ambos tipos de coeficiente están basados en mediciones directas de los PFC. En el Nivel 2 se hace uso de un coeficiente promedio obtenido de las mediciones en muchas instalaciones, mientras que el Nivel 3 se basa en mediciones efectuadas en la planta individual. Puesto que los mecanismos del proceso que producen emisiones de PFC son similares para el CF_4 y el C_2F_6 , al estimar las emisiones de PFC, ambos gases deben considerarse conjuntamente. En todos los métodos descritos aquí, las emisiones de C_2F_6 se calculan como fracción de las emisiones de CF_4 .

Si se logra establecer una relación entre los datos de proceso del efecto anódico y las emisiones de PFC, para calcular estas emisiones se pueden usar los datos de proceso recolectados en forma continua en vez de medir directamente los PFC. La elección entre las dos relaciones de estimación depende de la tecnología de control del proceso que esté en vigor. Cuando se registran los minutos de efecto anódico por día-celda, debe utilizarse la Ecuación 4.26 y cuando se registran los datos relativos a la sobre tensión, debe emplearse la Ecuación 4.27.

Coefficiente de pendiente: El coeficiente de pendiente representa los kg. de CF_4 por tonelada de aluminio producido, dividido por los minutos de efecto anódico por día-celda⁹. Puesto que las emisiones de PFC se miden por tonelada de aluminio producido, incluye los efectos de la intensidad de corriente en la celda y de la eficiencia actual del proceso, los dos factores que determinan la cantidad de aluminio producido en la celda. La Ecuación 4.26 describe el método de la pendiente tanto para el CF_4 como para el C_2F_6 .

ECUACIÓN 4.26
EMISIONES DE PFC POR EL MÉTODO DE LA PENDIENTE (MÉTODOS DE NIVEL 2 Y NIVEL 3)

$$E_{CF_4} = S_{CF_4} \cdot AEM \cdot MP$$

$$E_{C_2F_6} = E_{CF_4} \cdot F_{C_2F_6/CF_4}$$

Donde:

E_{CF_4} = emisiones de CF_4 generadas por la producción de aluminio, kg. de CF_4

$E_{C_2F_6}$ = emisiones de C_2F_6 generadas por la producción de aluminio, kg. de C_2F_6

S_{CF_4} = coeficiente de pendiente para el CF_4 , (kg. de CF_4 /tonelada de Al)/(minutos-EA/día-celda)

AEM = minutos de efecto anódico por día-celda, minutos-EA/día-celda

⁹ El término «día-celda» se refiere a la cantidad de celdas en operación multiplicada por la cantidad de días de operación.

MP = producción total de metal, toneladas de Al

$F_{C_2F_6/CF_4}$ = fracción de peso del C_2F_6 respecto del CF_4 , kg. de C_2F_6 /kg. de CF_4

Coefficiente de sobre tensión: algunos sistemas de control del proceso caracterizan el efecto anódico calculando una estadística de la sobre tensión de efecto anódico (AEO, del inglés, *Anode Effect Overvoltage*)¹⁰ La AEO se define como la tensión de celda adicional, por encima de la tensión planificada de operación, que se ha determinado como un buen índice de predicción de las emisiones de PFC cuando la registra el sistema de control del proceso. La tecnología AEO de control del proceso está en uso en muchas fundiciones modernas. La sobre tensión AEO se calcula sumando el producto del tiempo y de la tensión que sobrepasa la tensión planificada de operación y dividiendo esta cifra por el tiempo durante el cual se han recolectado los datos.

ECUACIÓN 4.27
EMISIONES DE PFC POR EL MÉTODO DE LA SOBRE TENSION (METODOS DE NIVEL 2 Y NIVEL 3)

$$E_{CF_4} = OVC \cdot \frac{AEO}{CE/100} \cdot MP$$

y

$$E_{C_2F_6} = E_{CF_4} \cdot F_{C_2F_6/CF_4}$$

Donde:

E_{CF_4} = emisiones de CF_4 generadas por la producción de aluminio, kg. de CF_4

$E_{C_2F_6}$ = emisiones de C_2F_6 generadas por la producción de aluminio, kg. de C_2F_6

OVC = coeficiente de sobre tensión para el CF_4 , (kg. de CF_4 /tonelada de Al)/mV

AEO = sobre tensión de efecto anódico, mV

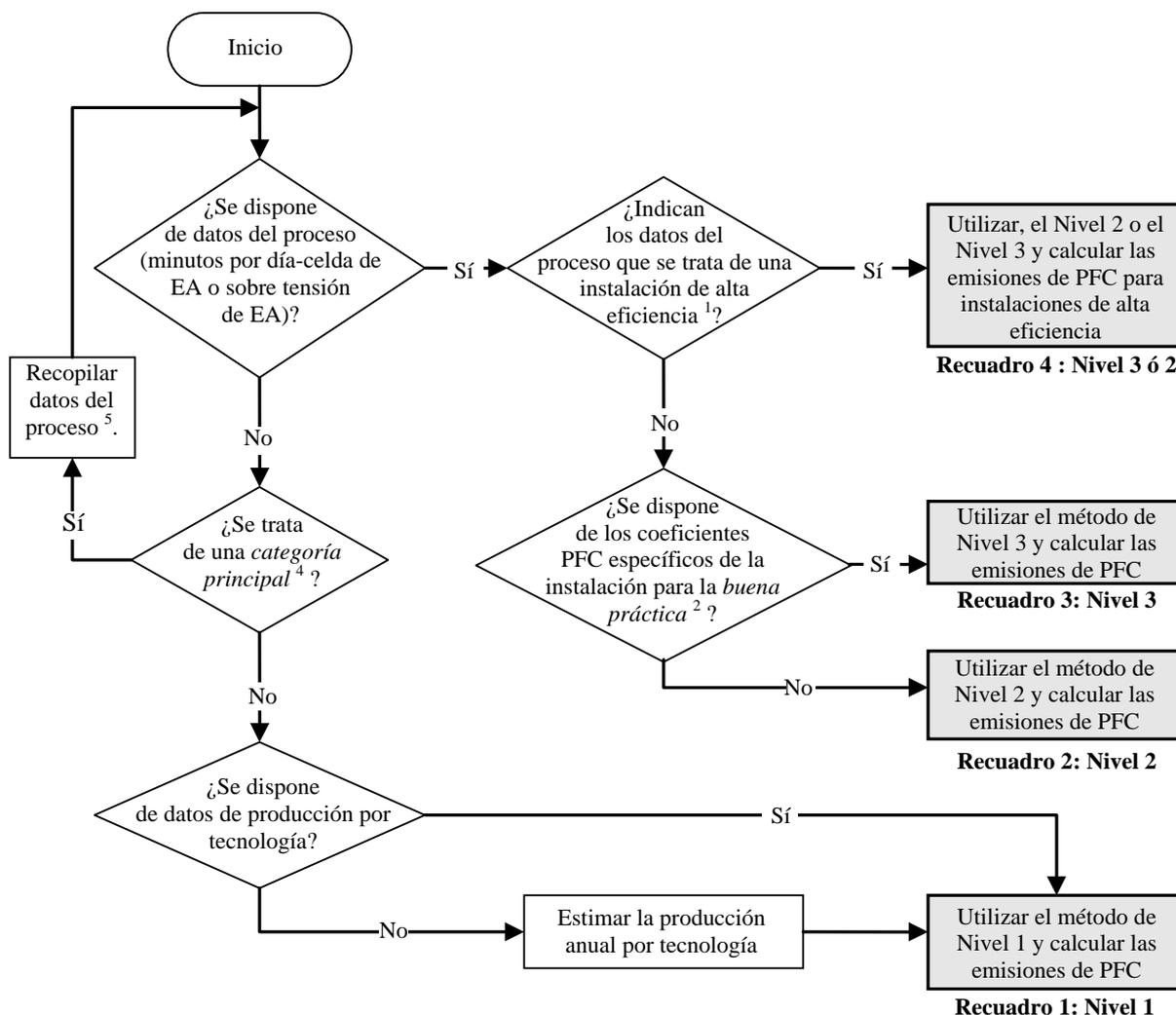
CE = eficiencia expresada actual del proceso de producción de aluminio, porcentaje (p. ej., 95 por ciento)

MP = producción total de metal, toneladas de Al

$F_{C_2F_6/CF_4}$ = fracción de peso del C_2F_6 respecto del CF_4 , kg. de C_2F_6 /kg. de CF_4

¹⁰ Los sistemas de control por computadora determinan, ya sea una sobretensión «positiva» o una sobre tensión «algebraica», según la versión del software utilizado. El uso de la expresión «sobre tensión» no debe confundirse con el de la terminología clásica de la electroquímica, donde ésta designa generalmente la tensión adicional necesaria para que ocurra una reacción electroquímica.

Figura 4.12 **Árbol de decisión para el cálculo de las emisiones de PFC provenientes de la producción de aluminio primario**



Nota :

1. Las instalaciones de alta eficiencia emiten cantidades tan pequeñas de PFC que, a través del uso del método de Nivel 3 en vez del método de Nivel 2, no se pueden esperar mejoras significativas para el inventario general de GEI de la instalación. Las instalaciones de alta eficiencia se definen, según cuáles datos de proceso se recopilen, como aquellas que operan con menos de 0,2 minutos por día-celda de efecto anódico, o menos de 1,4 mV de sobre tensión. En tales instalaciones, al cambiar del método de Nivel 2 al método de Nivel 3 para los PFC, las mejoras en la exactitud del inventario de GEI de la instalación es inferior al 5 por ciento.
2. En el *IAI GHG Protocol* (IAI, 2005) se detallan las *buenas prácticas* para obtener los coeficientes de la ecuación para los PFC específicos de la instalación.
3. En este caso, debe usarse el método de Nivel 2 hasta que se pueda disponer de coeficientes de Nivel 3 específicos del sitio y se emplee el método de Nivel 3, a menos que las emisiones de PFC se desvanezcan, en cuyo caso las instalaciones pueden escoger el uso del Nivel 2 ó 3, indistintamente.
4. Para un análisis de las categorías principales y el uso de los árboles de decisión, Véase Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de Categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).
- 5; Para las categorías principales es una buena práctica recopilar datos sobre el efecto anódico del proceso y la actividad de producción al nivel de producción individual de la instalación.
6. Las plantas de aluminio primario registran regularmente datos de la actividad, incluidos los datos del proceso de producción de metal y del efecto anódico que facilitan, al menos, el método de cálculo de Nivel 2. Para los PFC, al usar los métodos de Nivel 1 pueden producirse errores de magnitud 10 veces superiores.

4.4.2.4 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN PARA LOS PFC

Nivel 1: factores de emisión por defecto basados en la tecnología

Los factores de emisión por defecto para el método de Nivel 1 se presentan en el Cuadro 4.15.

CUADRO 4.15
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO E INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE PFC
GENERADAS POR LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO POR TIPO DE TECNOLOGÍA DE CELDA (MÉTODO DE NIVEL 1)

Tecnología	CF ₄		C ₂ F ₆	
	EF _{CF4} (kg./tonelada de Al) ^a	Intervalo de incertidumbre (%) ^b	EF _{C2F6} (kg./tonelada de Al) ^c	Intervalo de incertidumbre (%) ^d
CWPB	0,4	-99/+380	0,04	-99/+380
SWPB	1,6	-40/+150	0,4	-40/+150
VSS	0,8	-70/+260	0,04	-70/+260
HSS	0,4	-80/+180	0,03	-80/+180

^a Valores de CF₄ por defecto calculados de la mediana del rendimiento del efecto anódico, tomados de los datos del estudio *1990 IAI survey data* (IAI, 2001).

^b Incertidumbre basada en el intervalo de las emisiones específicas de CF₄ calculadas por tecnología, tomada de los datos del estudio *1990 IAI survey data* (IAI, 2001).

^c Valores por defecto para el C₂F₆ calculados a partir del promedio global de la razón C₂F₆:CF₄ por tecnología, multiplicados por el factor de emisión de CF₄ por defecto.

^d Intervalo de incertidumbre basado en el promedio global de la razón C₂F₆:CF₄ por tecnología, multiplicado por el valor máximo y el valor mínimo de las emisiones específicas de CF₄, tomados de los datos del estudio *1990 IAI survey data* (IAI, 2001).

Nota: Estos factores de emisión por defecto deben utilizarse sólo en ausencia de datos de Nivel 2 o 3.

Nivel 2: factor de emisión de los PFC basado en una relación específica de la tecnología, entre el rendimiento del efecto anódico y las emisiones de los PFC

El método de Nivel 2 está basado en el uso de coeficientes, ya sea el de pendiente específica de la tecnología o el de sobre tensión, para las tecnologías de celda de reducción y de control del proceso que sean aplicables y que se enumeran en el Cuadro 4.16.¹¹

¹¹ Estos coeficientes de pendiente han sido derivados a partir de mediciones de PFC y estableciendo la correlación entre las emisiones de PFC y los minutos por día-celda de efecto anódico medidos en más de cien fundiciones de aluminio. Los valores del Cuadro 4.16 son los factores específicos de las tecnologías establecidos a partir de datos sobre mediciones disponibles desde marzo de 2005, fecha de elaboración de este documento. Es importante tener presente que los coeficientes de pendiente de Nivel 2 se basan en los minutos de efecto anódico por día-celda, tal como se define en el *IAI GHG Protocol* (IAI, 2005a). Es una *buena práctica* referirse a los datos más actuales para calcular las emisiones de PFC, como se señala en el *IAI GHG Protocol*, y a la base de datos de factores de emisión del IPCC.

CUADRO 4.16 COEFICIENTES DE PENDIENTE Y DE SOBRE TENSIÓN ESPECÍFICOS DE LA TECNOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE PFC GENERADAS POR LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO (MÉTODO DE NIVEL 2)						
Tecnología ^a	Coeficiente de pendiente ^{b, c} [(kg. de PFC/t _{Al}) / (minutos-EA/día-celda)]		Coeficiente de sobretensión ^{b, c, d} [(kg. CF ₄ /t _{Al}) / (mV)]		Fracción de peso C ₂ F ₆ / CF ₄	
	CF ₄	Incertidumbre (+/-%)	CF ₄	Incertidumbre (+/-%)	C ₂ F ₆ /CF ₄	Incertidumbre (+/-%)
CWPB	0,143	6	1,16	24	0,121	11
SWPB	0,272	15	3,65	43	0,252	23
VSS	0,092	17	no pertinente	no pertinente	0,053	15
HSS	0,099	44	no pertinente	no pertinente	0,085	48

^a Precocido central (CWPB, del inglés, *Centre-Worked Prebake*), Precocido lateral (SWPB, del inglés, *Side-Worked Prebake*), Søderberg a barra horizontal (HSS, del inglés, *Horizontal Stud Søderberg*) y Søderberg a barra vertical (VSS, del inglés, *Vertical Stud Søderberg*).

^b Fuente: Mediciones declaradas al IAI, mediciones respaldadas por US EPA y múltiples mediciones en instalaciones (U.S. EPA e IAI, 2003).

^c En cada coeficiente de pendiente y de sobre tensión se integra una supuesta eficiencia de recolección de las emisiones, de la manera siguiente: CWPB 98%, SWPB 90%, VSS 85%, HSS 90%. Estas eficiencias de recolección se han supuesto basándose en las fracciones de recolección de PFC medidas, en las eficiencias de recolección de gases fluorados medidas y en la opinión de expertos.

^d Los coeficientes señalados reflejan mediciones efectuadas en algunas instalaciones que registran sobre tensiones positivas y otras que registran sobre tensiones algebraicas. Aún no se ha establecido una relación robusta entre la sobre tensión positiva y la sobre tensión algebraica. La sobre tensión positiva proporciona una mejor correlación con las emisiones de PFC que la sobre tensión algebraica. Los coeficientes de sobre tensión no son pertinentes para las tecnologías VSS y HSS.

Nivel 3: factor de emisión de los PFC basado en una relación específica de la instalación, entre rendimiento del efecto anódico y las emisiones de PFC

El método de nivel 3 se basa en un coeficiente de pendiente o de sobre tensión de efecto anódico específico de la planta. Este coeficiente caracteriza la relación que existe entre el rendimiento del efecto anódico de la planta y las emisiones de PFC medidas mediante mediciones continuas o periódicas, coherentes con las prácticas de medición establecidas (U.S. EPA and IAI, 2003) y con el protocolo sobre GEI del Instituto Internacional del Aluminio, *International Aluminium Institute GHG Protocol* (IAI, 2005a).

4.4.2.5 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Las estadísticas sobre la producción deben estar disponibles en cada instalación para permitir el uso de los métodos de Nivel 1, tanto para las emisiones de CO₂ como para las de PFC. Es probable que la incertidumbre en las toneladas de aluminio producido sea baja en la mayoría de los países. Dado que se espera una disponibilidad universal de los datos de producción, los datos sobre capacidad de producción deben utilizarse sólo para verificar las estadísticas de producción.

Los métodos de *buena práctica* para las emisiones de PFC requieren datos exactos sobre los minutos de efecto anódico o datos exactos respecto de la sobre tensión (AEO) para todos los tipos de celdas. Las estadísticas anuales deben basarse en el promedio ponderado respecto de la producción de los datos mensuales sobre el efecto anódico. Tanto el Nivel 2 como el Nivel 3 emplean los minutos de efecto anódico por día-celda o la sobre tensión del efecto anódico, así como los datos de producción de aluminio. Se debe consultar a las compañías productoras de aluminio individuales o los grupos industriales, las asociaciones nacionales del aluminio o el Instituto Internacional del Aluminio, para garantizar que los datos estén disponibles y expresados en un formato utilizable para la estimación del inventario.

Para las emisiones de CO₂, todos los fundidores de aluminio recopilan datos conformes con los métodos de Nivel 2 o 3. Los fundidores Søderberg recolectan datos sobre el consumo de pasta de ánodos, mientras que los fundidores que emplean precocidos registran el consumo de ánodos cocidos. Los métodos de Nivel 2 y 3 emplean las mismas ecuaciones para el cálculo de las emisiones de CO₂; sin embargo, el método de Nivel 3 utiliza datos específicos de la planta sobre la composición de los materiales anódicos, mientras que el método de Nivel 2 usa promedios industriales de datos sobre consumo de ánodos.

4.4.2.6 EXHAUSTIVIDAD

En general, las instalaciones de aluminio primario disponen de buenos registros sobre las toneladas de aluminio producido a través de toda la serie temporal cubierta por el inventario. Además, por lo general, los datos sobre consumo de carbono deben estar disponibles para el mismo período. Los datos de proceso sobre el efecto anódico pueden estar incompletos para toda la serie temporal y quizá sea necesario tomar medidas, como las descritas en la Sección 4.4.2.7, Desarrollo de una serie temporal coherente, para calcular las emisiones de PFC para algunas porciones del periodo del inventario. La producción de aluminio primario utiliza también grandes cantidades de energía eléctrica y deben tomarse precauciones para evitar omisiones del dióxido de carbono asociado con las entradas de electricidad, o bien, para evitar cálculos dobles de este dióxido de carbono.

4.4.2.7 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Típicamente, las estadísticas sobre producción de aluminio deberían estar disponibles para toda la trayectoria de la planta. El desarrollo de una serie temporal coherente para las emisiones de dióxido de carbono no debería presentar problemas, dado que la mayoría de las plantas han medido y registrado el consumo de ánodos o de pasta. Si faltan datos sobre el consumo de ánodos o de pasta, las emisiones de dióxido de carbono pueden estimarse a partir de la producción de aluminio con el método de Nivel 1.

Los mejores resultados para una serie temporal se obtienen de una serie temporal completa de datos de la actividad relacionados con los PFC, tales como los minutos de efecto anódico por día-celda o la sobre tensión de efecto anódico. Debido a que las emisiones de PFC se constituyeron en un área de interés mayor para la industria mundial del aluminio sólo en los inicios de los años 1990, algunas plantas pueden poseer información limitada acerca de los datos del efecto anódico requeridos para implementar las prácticas de inventario de los PFC de Nivel 2 o 3, sobre la totalidad del periodo cubierto por el inventario. Al revertir los cálculos de emisiones de PFC hacia los métodos de Nivel 1, pueden introducirse errores y discontinuidades sustanciales para los años en los que no se dispone de datos de la actividad. Para una instalación y una disponibilidad dadas de datos detallados de proceso, la idoneidad de la aplicación retrospectiva de los factores de emisión de PFC, de Nivel 2 o de Nivel 3, varía según las condiciones específicas. Generalmente, se prefiere emplear métodos de predicción retrospectiva de Nivel 2 o de Nivel 3 que utilizan el empalme o los datos sustitutos, en vez de aplicar factores de emisión de Nivel 1. En particular, allí donde se disponga sólo de datos sobre la frecuencia del efecto anódico y no se disponga de datos sobre su duración, es una *buena práctica* empalmar o extrapolar retroactivamente las emisiones de PFC por tonelada de aluminio, basándose en los datos sobre la frecuencia del efecto anódico. En la actualidad, muchas plantas están realizando mediciones de PFC que facilitan la implementación de los métodos de inventario de los PFC de Nivel 3. Hay varios problemas que repercuten sobre la posibilidad de extrapolar los factores de emisión de PFC de Nivel 3 a periodos anteriores del inventario. Entre los factores que deben considerarse se incluyen las situaciones siguientes: si se han implementado mejoras tecnológicas en la instalación, si hubo cambios sustanciales en las prácticas de trabajo, si han ocurrido cambios en los cálculos de los datos pertinentes del proceso subyacente y en la calidad de las mediciones efectuadas para determinar los coeficientes de Nivel 3. Es una *buena práctica* consultar a los representantes de las instalaciones operacionales, fuere directamente o a través de las organizaciones regionales o internacionales que representan a la industria, para desarrollar la mejor estrategia para abordar el grupo específico de sitios operacionales incluidos en el inventario nacional. Informaciones útiles adicionales sobre los métodos de empalme y detalles relacionados con la construcción de una serie temporal para el aluminio primario están disponibles en el *IAI* (IAI, 2005). También, en el Instituto Internacional del Aluminio (Londres, Reino Unido) se puede acceder a la asesoría de expertos en relación con las emisiones de gases de efecto invernadero y con las emisiones industriales típicas provenientes de la producción de aluminio.

4.4.3 Evaluación de incertidumbre

En función de la elección de métodos de Nivel 1, 2 o 3, existen diferencias mayores respecto de la incertidumbre para las emisiones de PFC. Las diferencias en la incertidumbre que resulta de la elección del método son mucho menores para las emisiones de dióxido de carbono que para las emisiones de PFC. Para las emisiones generadas por la producción de aluminio, no hay otras causas que expliquen las diferencias de un país o región, que las que resultan de los tipos específicos de tecnologías de producción y de las prácticas de trabajo en uso en el país o la región. Estas diferencias se reflejan en las metodologías de cálculo descritas más arriba.

4.4.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

La incertidumbre en los factores de emisión que se usan para calcular las emisiones de dióxido de carbono generadas por el consumo de ánodos o de pasta, debe ser inferior al ± 5 por ciento, tanto para el método de Nivel 2 como para el de Nivel 3, e inferior al ± 10 por ciento para el método de Nivel 1. Las reacciones que conducen a las emisiones de dióxido de carbono son bien conocidas y las emisiones están muy bien vinculadas al tonelaje de aluminio producido a través de las ecuaciones electroquímicas fundamentales para la reducción de la alúmina en un ánodo de carbono y para la oxidación por medio de procesos térmicos. Estos dos procesos fundamentales que producen dióxido de carbono están incluidos en los parámetros de proceso que se monitorean rutinariamente en las plantas de producción: el consumo neto de carbono y/o de pasta de ánodo. La fuente principal de incertidumbre corresponde al consumo neto de carbono para las tecnologías de precocidos y el consumo de pasta para las celdas Söderberg. Ambos factores se monitorean cuidadosamente y constituyen factores importantes del desempeño económico de una instalación. Al pasar de los métodos de Nivel 1 a los de Nivel 2, se pueden lograr mejoras en la exactitud de los inventarios sobre emisiones de dióxido de carbono pues existe un intervalo de rendimientos de las instalaciones de reducción respecto del consumo de los materiales de los ánodos de carbono. Las mejoras esperadas en la exactitud respecto del método Nivel 2, son menos significativas al escoger el método de Nivel 3. Esto se debe a que los factores principales del cálculo son el consumo neto de carbono de los ánodos o de pasta y la producción de aluminio. La incertidumbre de estos dos componentes de la ecuación del cálculo es baja, del orden del 2 al 5 por ciento, y en los métodos de Nivel 2 y Nivel 3, estas incertidumbres dominan el cálculo general de las emisiones de dióxido de carbono. En los cálculos de estos parámetros, tanto de Nivel 2 como de Nivel 3, se emplean datos específicos de la planta. El método de Nivel 3 es un refinamiento de los cálculos que usa la composición real de los materiales de los ánodos de carbono. Aunque puede darse una variabilidad considerable en los componentes de los materiales de ánodo, esta variabilidad no contribuye significativamente al cálculo general de las emisiones de dióxido de carbono.

Al considerar los cambios en las incertidumbres del inventario sobre emisiones de PFC, cuando se pasa del Nivel 1 al Nivel 2 y al 3, las mayores reducciones de incertidumbre se obtienen al escoger los métodos de Nivel 2 o 3 en vez del método de Nivel 1. El alto nivel de incertidumbre en el método de Nivel 1 es el resultado directo de la gran variabilidad en el rendimiento del efecto anódico entre los operadores que usan una tecnología de producción similar. El método de Nivel 1 se basa en el uso de un único coeficiente por defecto para todos los operadores por tipo de tecnología. Puesto que puede haber variaciones por factores de 10 en el rendimiento del efecto anódico (frecuencia y duración) entre operadores que emplean la misma tecnología (IAI, 2005c), la utilización del método de Nivel 1 puede producir incertidumbres de la misma magnitud. Hay un impacto menor sobre los niveles de incertidumbre al escoger el método de Nivel 3, en reemplazo del método de Nivel 2; sin embargo, el nivel de la reducción de incertidumbre depende del tipo de tecnología de celda. La incertidumbre para los coeficientes promedio de la industria varía en un intervalo que va de un ± 6 por ciento para la CWPB, la tecnología más ampliamente medida y utilizada, hasta un ± 44 por ciento para la tecnología HSS. Tanto el método de Nivel 2 como el de Nivel 3 se basan en mediciones directas de PFC que permiten establecer una relación entre el rendimiento del efecto anódico y las emisiones específicas de PFC. El método de Nivel 2 utiliza un coeficiente de ecuación promedio de la industria, mientras que el método de Nivel 3 emplea un coeficiente específico de la planta basado en mediciones directas de PFC efectuadas en la planta. A medida que se realicen más mediciones de instalaciones, en particular en aquellas que operan con tecnologías Söderberg, la incertidumbre en los coeficientes promedio debería disminuir. La incertidumbre más baja para los cálculos de emisiones de PFC se obtiene mediante el método de Nivel 3. Sin embargo, para alcanzar esta incertidumbre inferior en los cálculos de emisiones de PFC de Nivel 3, es importante emplear *buenas prácticas* al efectuar las mediciones de PFC específicas de la instalación. Las *buenas prácticas* de medición han sido establecidas y documentadas en un protocolo disponible a nivel mundial (USEPA/IAI, 2003). Cuando estos coeficientes de Nivel 3 se determinan de manera apropiada, poseen una incertidumbre de ± 15 por ciento en el momento de efectuar la medición de los coeficientes.

4.4.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Hay muy poca incertidumbre, menos del 1 por ciento, en los datos sobre la producción anual de aluminio. Se estima que la incertidumbre asociada al registro del consumo de carbono, como consumo de ánodos precocidos o de coque y de pasta de ánodos, es sólo ligeramente superior a la de la producción de aluminio: menos de un 2 por ciento. El otro componente de las emisiones específicas de la instalación calculadas mediante los métodos de Nivel 2 o de Nivel 3, corresponde a los datos de la actividad relacionados con el efecto anódico, esto es, ya sea los minutos de efecto anódico por día-celda o la sobre tensión del efecto anódico. Típicamente, estos parámetros son registrados por el sistema de control del proceso como parte de las operaciones en casi todas las plantas de producción de aluminio y las incertidumbres asociadas a estos datos son bajas.

4.4.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

4.4.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

En todas las instalaciones de producción de aluminio, es una *buena práctica* mantener registros de todos los datos de la actividad necesarios para realizar los cálculos de los factores de emisión, como se sugiere en estas directrices. Estos registros incluirán la producción de aluminio, el rendimiento del efecto anódico y el consumo de materiales carbonáceos utilizados, en las celdas con ánodos precocidos o en las celdas Söderberg. Además, el Instituto Internacional del Aluminio mantiene resúmenes mundiales de datos agregados de la actividad sobre estos mismos parámetros y los datos regionales están disponibles en las asociaciones regionales del aluminio. Es una *buena práctica* agregar las estimaciones de emisiones de cada fundidor para estimar el total nacional de emisiones. Sin embargo, si no se dispone de datos de producción al nivel del fundidor, se pueden usar los datos sobre su capacidad de producción junto con la producción agregada nacional para estimar la producción del fundidor.

Es una *buena práctica* verificar los factores de emisión de CO₂ por tonelada de aluminio de las instalaciones, comparándolos con el intervalo esperado de variación que se pueda predecir a partir de las variaciones señaladas en los Cuadros 4.10 y 4.11 para las emisiones específicas de dióxido de carbono. Por igual, los coeficientes de la ecuación de base utilizados para calcular los factores de emisión de PFC por tonelada de aluminio, deben compararse con los que se señalan en el Cuadro 4.15. Se sugiere que todo valor de inventario que esté fuera del intervalo de confianza del 95 por ciento de la varianza de la población de datos sea confirmado con la fuente de los datos.

El empleo de métodos de medición estándar mejora la coherencia de los datos resultantes y el conocimiento de las propiedades estadísticas de los datos. Para el aluminio primario, la norma reconocida internacionalmente es el protocolo *EPA/IAI Protocol for Measurement of Tetrafluoromethane (CF₄) and Hexafluoroethane (C₂F₆) Emissions from Primary Aluminum Production* (U.S. EPA and IAI, 2003 Protocolo para la medición de las emisiones de tetrafluorometano (CF₄) y hexafluoroetano (C₂F₆) provenientes de la producción primaria del aluminio). Los compiladores del inventario deben instar a las plantas a utilizar este método para desarrollar los coeficientes de la ecuación de Nivel 3 para los PFC. Las diferencias significativas entre los coeficientes calculados basándose en las mediciones de PFC y los coeficientes promedio de la industria de Nivel 2 para tecnologías de reducción similares, deben suscitar revisiones más profundas y verificaciones de los cálculos. Las grandes diferencias deben explicarse y documentarse. Un conjunto de datos internacionales sobre rendimiento anódico que puede emplearse para identificar los datos extremos atípicos está disponible en el Instituto Internacional del Aluminio. Además, al evaluar la idoneidad de los datos declarados, debe consultarse una base de datos actualizada sobre mediciones de PFC que lleva también el IAI.

Los cambios inter anuales en las emisiones de dióxido de carbono por tonelada de aluminio no deben sobrepasar el ± 10 por ciento, basándose en la coherencia de los procesos subyacentes que producen dióxido de carbono. Por el contrario, los cambios inter anuales en las emisiones de PFC por tonelada de aluminio pueden variar dentro del orden de hasta un ± 100 por ciento. Los aumentos en las emisiones específicas de PFC pueden ser el resultado de las inestabilidades del proceso. Los aumentos en la frecuencia y duración del efecto anódico pueden ser el resultado de factores tales como las interrupciones no anticipadas de energía, los cambios en las fuentes de los materiales de alimentación en alúmina, los problemas operacionales en las celdas y los aumentos en la intensidad de la corriente de línea para aumentar la producción de aluminio. Las disminuciones de emisiones específicas de PFC pueden ser el resultado de disminuciones en la frecuencia y duración del efecto anódico debido a cambios en los algoritmos computadorizados que se emplean en el control del proceso en las celdas, mejoramientos en la tecnología de celdas, tales como la instalación de alimentadores por puntos, mejoras en las prácticas de trabajo y un mejor control de las materias primas.

4.4.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, Garantía de calidad y Control de calidad, Documentación interna y Archivo. A continuación se indican algunos ejemplos de documentación y generación de informes pertinentes para esta categoría de fuente:

No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las

estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas. Para mejorar la transparencia, es una *buena práctica* declarar las emisiones de PFC de la producción de aluminio en forma separada de otras categorías de fuentes. Además, es una *buena práctica* que las emisiones de se declaren separadamente sobre la *base de las masas*.

La información de soporte necesaria para garantizar la transparencia en las estimaciones de emisiones declaradas, se muestra en el siguiente Cuadro 4.17, Información declarativa de *buena práctica* para las emisiones de PFC de la producción de aluminio, por Nivel.

Gran parte de los datos sobre producción y procesos es considerada como propiedad industrial por los operadores, particularmente cuando en un país sólo hay un número reducido de plantas. Es una *buena práctica* aplicar técnicas apropiadas, incluyendo la agregación de los datos, para garantizar la protección de los datos confidenciales.

CUADRO 4.17			
INFORMACIÓN DECLARATIVA DE BUENA PRÁCTICA PARA LAS EMISIONES DE CO₂ Y PFC DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO, POR NIVEL			
Datos	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 1
PFC			
Producción nacional anual (por tecnología CWPB, SWPB, HSS o VSS)			X
Producción anual por fundidor (por tecnología CWPB, SWPB, HSS o VSS)	X	X	
Minutos de efecto anódico por día-celda o sobre tensión de efecto anódico (mV)	X	X	
Coefficientes de emisión específicos de la instalación vinculados al rendimiento del efecto anódico	X		
Coefficientes de emisión específicos de la tecnología vinculados al rendimiento del efecto anódico		X	
Coefficientes de emisión por defecto de la tecnología			X
Documentación de soporte	X	X	X
CO₂			
Producción nacional anual (por tecnología de precocido o Søderberg)			X
Producción anual por fundidor (por tecnología de precocido o Søderberg)	X	X	
Consumo neto de ánodos en celdas de precocido o consumo de pasta en celdas Søderberg	X	X	
Niveles de impureza en materiales de carbono y polvo de carbono en celdas Søderberg	X		

4.5 PRODUCCIÓN DE MAGNESIO

4.5.1 Introducción

En la industria del magnesio hay una serie de gases y de fuentes potenciales de emisión. La cantidad y el tipo de emisiones generadas por la industria del magnesio se corresponden con las materias primas utilizadas para la producción de magnesio metálico primario y/o con el tipo de mezcla de gases de cobertura empleada en las fundiciones de moldeo y reciclado, para evitar la oxidación del magnesio fundido. Es una *buena práctica* considerar todos los segmentos de la industria del magnesio y sus emisiones relacionadas, en lo posible de manera desagregada. En el Cuadro 4.18 se enumeran las posibles emisiones de gases de efecto invernadero que pueden asociarse con la producción y el moldeo de metal magnesio primario y secundario.

El magnesio primario se refiere al magnesio metálico derivado de fuentes minerales. El magnesio primario puede producirse, ya sea mediante electrólisis, o bien, por un proceso de reducción térmica. Las materias primas utilizadas para la producción de magnesio primario son la dolomita, la magnesita, la carnalita, la serpentina, las salmueras o el agua de mar. El procesamiento de las materias primas carbonatadas (magnesita y dolomita) libera CO₂ durante la fabricación. El CO₂ es liberado durante la calcinación de los minerales basados en carbonatos (dolomita/magnesita), una etapa de tratamiento previo al proceso principal de reducción electrolítica y/o térmica. Este proceso es similar al de la generación de CO₂ en la industria de los minerales (véase Capítulo 2).

La producción de magnesio secundario incluye la recuperación y el reciclado de magnesio metálico a partir de una variedad de materiales de chatarra que contienen magnesio: por ejemplo, componentes reciclados postconsumo, virutas y desechos de maquinado, chatarras de moldeos, residuos de horno, etc. Los procesos de moldeo del magnesio pueden emplear metal proveniente de la producción, tanto de magnesio primario como de magnesio secundario. Los procesos de moldeo implican la manipulación de magnesio puro fundido y/o de aleaciones con un alto contenido de magnesio. El magnesio fundido (se subentiende que designa también a las aleaciones con un alto contenido de magnesio) puede moldearse mediante una variedad de métodos que incluyen el moldeo por gravedad, moldeo en arena, moldeo por inyección a presión y otros.

Todo el magnesio fundido arde espontáneamente en presencia de oxígeno atmosférico. La producción y el moldeo de todo metal de magnesio requieren de un sistema de protección para evitar que arda. Entre los diversos sistemas de protección comúnmente utilizados se hallan aquellos que emplean componentes gaseosos con valores elevados de PCA, tales como el SF₆, que se escapa típicamente hacia la atmósfera. Todas las fuentes y los diferentes procesos de moldeo de magnesio metálico requieren métodos de protección y tendrán, por lo tanto, potenciales similares de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

CUADRO 4.18 POSIBLES EMISIONES DE GEI RELACIONADAS CON LA PRODUCCIÓN Y EL PROCESAMIENTO DEL MAGNESIO				
PROCESO	EMISIÓN POTENCIAL DE GEI ASOCIADA AL PROCESO			
	SF ₆	HFC	CO ₂	Otros*
Preparación de la materias primas para la producción primaria				
Baso en la dolomita y/o magnesita	-	-	X	-
Otras materias primas	-	-	-	-
Moldeo (primario y secundario)				
Moldeo primario de lingotes	X	X	X	X
Moldeo por inyección a presión	X	X	X	X
Moldeo por gravedad	X	X	X	X
Otros métodos de moldeo	X	X	X	X
Producción secundaria de Mg**	X	X	X	X
* Otros incluye las cetonas fluoradas y varios productos fluorados de descomposición, p. ej., PFC				
** Incluye los procesos que implican el reciclado y/o la recuperación de magnesio metálico				

La producción secundaria de magnesio (reciclado), la manipulación, la fundición y el moldeo de metal fundido se protegen contra la oxidación, a través de todo el proceso, mediante sistemas de protección tales como la cobertura gaseosa antioxidante que contiene SF₆ o SO₂ (un gas de transporte (generalmente aire y/o CO₂) y SF₆ o SO₂¹²), o bien, en algunos casos, fundente. Las aleaciones con alto contenido de magnesio se protegen también generalmente mediante una cobertura gaseosa que contiene SF₆. Debido a los desarrollos tecnológicos recientes y a los esfuerzos por reemplazar el SF₆, la industria del magnesio ha introducido gases de cobertura alternativos. Está previsto que en la próxima década, dos de las alternativas más comunes para el SF₆ sean el hidrocarburo fluorado HFC-134^a y la cetona fluorada FK 5-1-12 (C₃F₇C(O)C₂F₅), comercializada bajo el nombre de marca Novec™612¹³, y el hecho que los productores y/o procesadores individuales de magnesio escojan uno u otro gas de cobertura estará fuertemente influido por las circunstancias nacionales y/o regionales (Tranell *et al.*, 2004).

EMISIONES DE CO₂ DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA

Como se indica en el Cuadro 4.18, los minerales que contienen magnesio y que liberan CO₂ durante la calcinación, son la dolomita (Mg•Ca(CO₃)₂) y la magnesita (MgCO₃). Por cada kilogramo de magnesio producido, durante la calcinación se emiten teóricamente 3,62 kg.¹⁴ (dolomita) o 1,81 kg. (magnesita) de CO₂. Las emisiones efectivas de CO₂ por kilogramo de magnesio producido serán superiores a la emisión teórica debido a las pérdidas de magnesio en la cadena de proceso.

PROCESOS DE MOLDEO DEL MAGNESIO (PRIMARIO Y SECUNDARIO)

En los procesos de moldeo del magnesio, el tamaño y el tipo de emisión de GEI depende del sistema de cobertura gaseosa que se utilice para proteger el magnesio líquido. Además de las emisiones del compuesto de protección activo (SF₆, HFC-134a o FK 5-1-12) en el propio gas de cobertura, puede haber emisiones de varios productos fluorados de descomposición (p. ej., PFC) y potencialmente, también en el gas de transporte (según que se haya escogido aire y/o CO₂ o N₂).

SF₆

Se ha supuesto comúnmente que el SF₆ en el gas de cobertura de magnesio es inerte y que, por lo tanto, esencialmente todo el SF₆ que se utiliza en la industria del magnesio será emitido. Sin embargo, recientes estudios independientes (Bartos *et al.*, 2003 y Tranell *et al.*, 2004) han demostrado que el SF₆ se destruye, en un cierto grado, al contacto con el magnesio líquido y/o gaseoso a las temperaturas comunes de retención y/o procesamiento del magnesio. La fracción de SF₆ destruido en el horno, así como el tipo y/o la cantidad de productos gaseosos secundarios generados en la reacción con el magnesio, dependen de las condiciones propias de la operación, tales como la concentración del SF₆ en el gas de cobertura, el índice de flujo total del gas de cobertura, el área de la superficie reactiva del magnesio, el tipo de gas de transporte utilizado, las prácticas de carga del horno, etc.

HFC-134a, FK 5-1-12 y productos de descomposición (p. ej., PFC)

Tanto el HFC-134a como el FK 5-1-12 son termodinámicamente menos estables (y, por lo tanto, poseen un PCA mucho más bajo) que el SF₆. Se espera, entonces, que estos gases se descompongan y/o reaccionen de manera extensiva al contacto con el magnesio líquido y/o gaseoso, y así conduzcan a la producción de varios gases fluorados (p. ej., PFC). Tranell *et al.*, 2004 hallaron que, como regla general, cuando el SF₆ es reemplazado por HFC-134a, se necesita menos de la mitad de la cantidad de compuesto fluorado activo, sobre una base molar, para proteger una superficie de magnesio dada (bajo condiciones, en todo lo demás, idénticas). Cuando el SF₆ se reemplaza por FK 5-1-12, se necesita menos de un cuarto de la cantidad de compuesto activo. Se ha informado que, como es el caso para el SF₆, la cantidad de compuesto activo en el gas de cobertura entrante que se destruye en el horno depende de condiciones tales como la concentración en el gas de cobertura entrante, la tasa de flujo total del gas de cobertura, el área de la superficie reactiva del magnesio, el tipo de gas de transporte utilizado, las prácticas de carga, etc. Nótese que las emisiones de PFC como productos de descomposición podrían ser más significativas, en términos de equivalente CO₂, que las emisiones de FK 5-1-12, dados sus efectos radiativos relativos¹⁵.

¹² En coherencia con el alcance de estas Directrices esbozado en el Volumen 1, en este capítulo no se proporcionan métodos para estimar las emisiones de SO₂.

¹³ El FK 5-1-12 (C₃F₇C(O)C₂F₅), comercializado como Novec™612, es una cetona fluorada producida por 3M (Milbrath, 2002).

¹⁴ Representa un caso en que el mineral posee un cociente estequiométrico Mg/Ca igual a 1.

¹⁵ El valor de PCA del FK 5-1-12 no ha sido identificado en el Tercer informe de evaluación del IPCC (IPCC, 2001) (TAR, del inglés, en *IPCC Third Assessment Report*), pero se estima que sea similar al del CO₂, según el productor de este gas.

Gases de transporte

Muchos sistemas de gases de cobertura emplean el CO₂ como gas de transporte —solo o combinado con aire seco— para diluir el compuesto fluorado activo y reducir la presión parcial del oxígeno en el horno. Que todo el CO₂ utilizado en el gas de cobertura sea emitido como CO₂, es una hipótesis cuantitativamente razonable. La cantidad de dióxido de carbono utilizado como gas de cobertura es mucho menor que la de los agentes activos usuales en el sistema de gas de cobertura y, por lo general, puede desecharse.

4.5.2 Cuestiones metodológicas

4.5.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

EMISIONES DE CO₂ DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA

La elección de un método de *buena práctica* para la preparación del inventario de emisiones de dióxido de carbono generadas por el segmento de producción primaria de magnesio (materias primas), depende de las circunstancias nacionales. El árbol de decisión (véase la Figura 4.13, Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ de la producción primaria de magnesio) describe las *buenas prácticas* al adaptar los métodos a estas circunstancias específicas del país.

Nivel 1

El método de Nivel 1 se apoya en los datos sobre la producción primaria nacional y en el conocimiento de las materias primas utilizadas en el país. Los datos nacionales de producción pueden no estar disponibles de manera pública pues hay un número limitado de países que producen magnesio y sólo unos pocos productores individuales —a menudo, uno por país— lo cual conduce frecuentemente a designar los datos sobre la producción nacional como confidenciales. Ante la ausencia de estadísticas nacionales sobre la producción primaria de magnesio, las asociaciones industriales, tales como la Asociación Internacional del Magnesio (<http://www.intlmag.org/>), pueden estar en condiciones de proveer estadísticas regionales. En caso de carencia de otros datos, puede ser posible estimar la producción primaria de magnesio a partir de los datos sobre las ventas nacionales anuales de metal magnesio. Este método posee una incertidumbre elevada pues no toma en cuenta el magnesio utilizado en la fabricación nacional de productos.

Las emisiones de CO₂ se calculan utilizando la Ecuación 4.28.

<p>ECUACIÓN 4.28</p> <p>EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE MAGNESIO PRIMARIO (NIVEL 1)</p> $E_{CO_2} = (P_d \cdot EF_d + P_{mg} \cdot EF_{mg}) \cdot 10^{-3}$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario, Gg

P_d = producción de magnesio primario a partir de la dolomita, toneladas

P_{mg} = producción de magnesio primario a partir de la magnesita, toneladas

EF_d = factor de emisión por defecto para las emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario a partir de la dolomita, toneladas de CO₂/tonelada de Mg primario producido

EF_{mg} = factor de emisión por defecto para las emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario a partir de la magnesita, toneladas de CO₂/tonelada de Mg primario producido

Nivel 2

El método de Nivel 2 para determinar las emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario implica recolectar factores de emisión empíricos y específicos de las compañías y/o plantas, además de los datos de producción específicos de la compañía. Los factores de emisión específicos de la compañía pueden diferir sustancialmente de los factores de emisión por defecto, según la manipulación de los materiales de proceso. Esta recolección debe efectuarse si las emisiones corresponden a una *categoría principal*.

Las emisiones de CO₂ se calculan utilizando la Ecuación 4.29.

ECUACIÓN 4.29
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE MAGNESIO PRIMARIO (NIVEL 2)

$$E_{CO_2} = \sum_i (P_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario, Gg

P_i = magnesio primario producido en la planta i , toneladas

EF_i = factor de emisión específico de la compañía y/o planta para las emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario obtenido de la compañía y/o planta i , toneladas de CO₂/tonelada de Mg primario producido

Nivel 3

Si se dispone de datos sobre las emisiones de CO₂ medidas efectivamente de las plantas individuales de magnesio primario, éstos pueden agregarse y emplearse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales.

PROCESOS DE MOLDEO DEL MAGNESIO (PRIMARIO Y SECUNDARIO)

SF₆

La elección de un método de *buena práctica* para la preparación del inventario de emisiones de SF₆ generadas por el segmento de fundición de magnesio, depende también de las circunstancias nacionales. El árbol de decisión (véase la Figura 4.14, Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de SF₆ del procesamiento del magnesio) describe las *buenas prácticas* al adaptar los métodos a estas circunstancias específicas del país.

Nivel 1 – factores de emisión por defecto

El método de Nivel 1 está basado en la cantidad total de magnesio que se funde o se manipula en el país (Ecuación 4.30). La hipótesis fundamental en el método de Nivel 1 es que el consumo de SF₆ en el segmento del magnesio se emite como SF₆. Como se ha describe en la Sección 4.5.1, esta hipótesis tenderá a sobreestimar las emisiones de GEI, pero la sobreestimación se mantendrá dentro del intervalo de incertidumbre general indicado en la Sección 4.5.3. El método básico de Nivel 1 utiliza un valor único como base para el cálculo de la emisión por defecto cuando el SF₆ se emplea para proteger de la oxidación, a pesar del hecho de que el consumo de SF₆ varía sustancialmente entre las diferentes operaciones de moldeo y entre los diferentes operadores (a veces por órdenes de magnitud). El método de Nivel 1 debe utilizarse sólo cuando el compilador del inventario no tiene conocimiento del tipo de operación de manipulación o de moldeo (reciclado, moldeo de tochos o moldeo por inyección a presión, etc.)

ECUACIÓN 4.30
EMISIONES DE SF₆ PROVENIENTES DEL MOLDEO DEL MAGNESIO (NIVEL 1)

$$E_{SF_6} = MGc \cdot EF_{SF_6} \cdot 10^{-3}$$

Donde:

E_{SF_6} = emisiones de SF₆ generadas por el moldeo del magnesio, toneladas

MGc = cantidad total de magnesio manipulado o moldeo en el país, toneladas

EF_{SF_6} = factor de emisión por defecto para las emisiones de SF₆ generadas por el moldeo del magnesio, kg. de SF₆/tonelada de Mg moldeo

Nivel 2 – consumo de SF₆ específico de la compañía

Al igual que para el método de Nivel 1, en el Nivel 2 se supone que todo el SF₆ consumido es emitido ulteriormente. Sin embargo, en vez de utilizar la cantidad de magnesio moldeo, en el método de Nivel 2 se utilizan los datos de consumo nacional (o subnacional) de SF₆ en la industria del magnesio que hayan sido declarados por la industria o que estén disponibles por intermedio de otras fuentes tales como las estadísticas nacionales (Ecuación 4.21).

Normalmente, la aplicación más exacta del método es la de recolectar datos directos sobre el consumo de SF₆ de todos los usuarios individuales del gas en la industria del magnesio. Si no se dispone de datos directos, un método alternativo, aunque menos exacto, es el de estimar la parte del consumo anual de SF₆ que sea atribuible a

la industria del magnesio. Exige recopilar datos anuales sobre las ventas nacionales de SF₆ y supone que todo el gas SF₆ vendido a la industria del magnesio es emitido dentro del año.

ECUACIÓN 4.31
EMISIONES DE SF₆ PROVENIENTES DEL MOLDEO DEL MAGNESIO (NIVEL 2)

$$E_{SF_6} = C_{SF_6}$$

Donde:

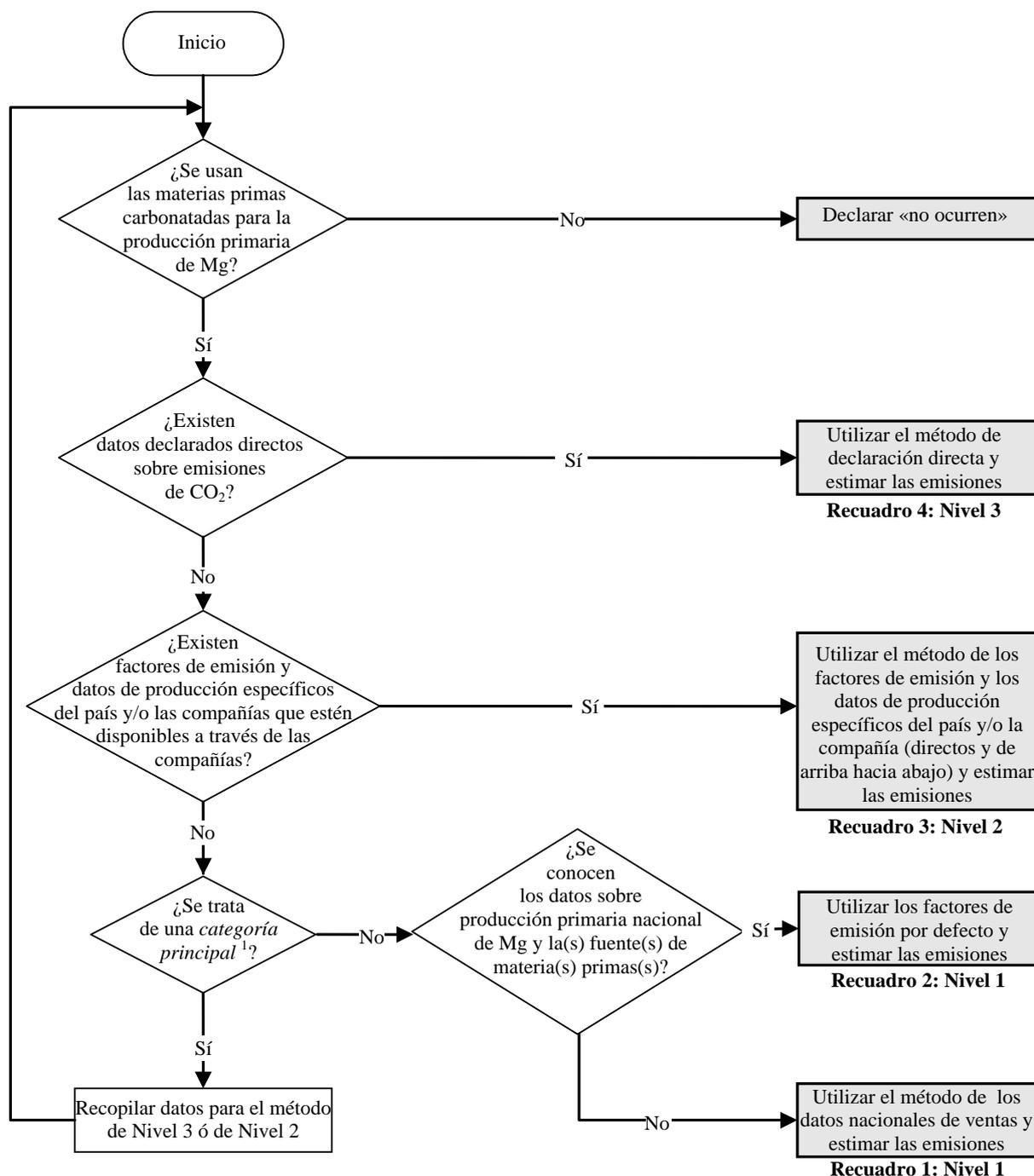
E_{SF_6} = emisiones de SF₆ generadas por el moldeo del magnesio, toneladas

C_{SF_6} = consumo de SF₆ en fundidores y fundiciones de magnesio, toneladas

Nivel 3 – método de medición directa

Si se dispone de datos sobre emisiones de CO₂ reales medidas de las instalaciones individuales de procesamiento del magnesio, éstos pueden agregarse y emplearse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales. Al declararlas, es una *buena práctica* incluir la destrucción de SF₆ y la formación de productos gaseosos secundarios.

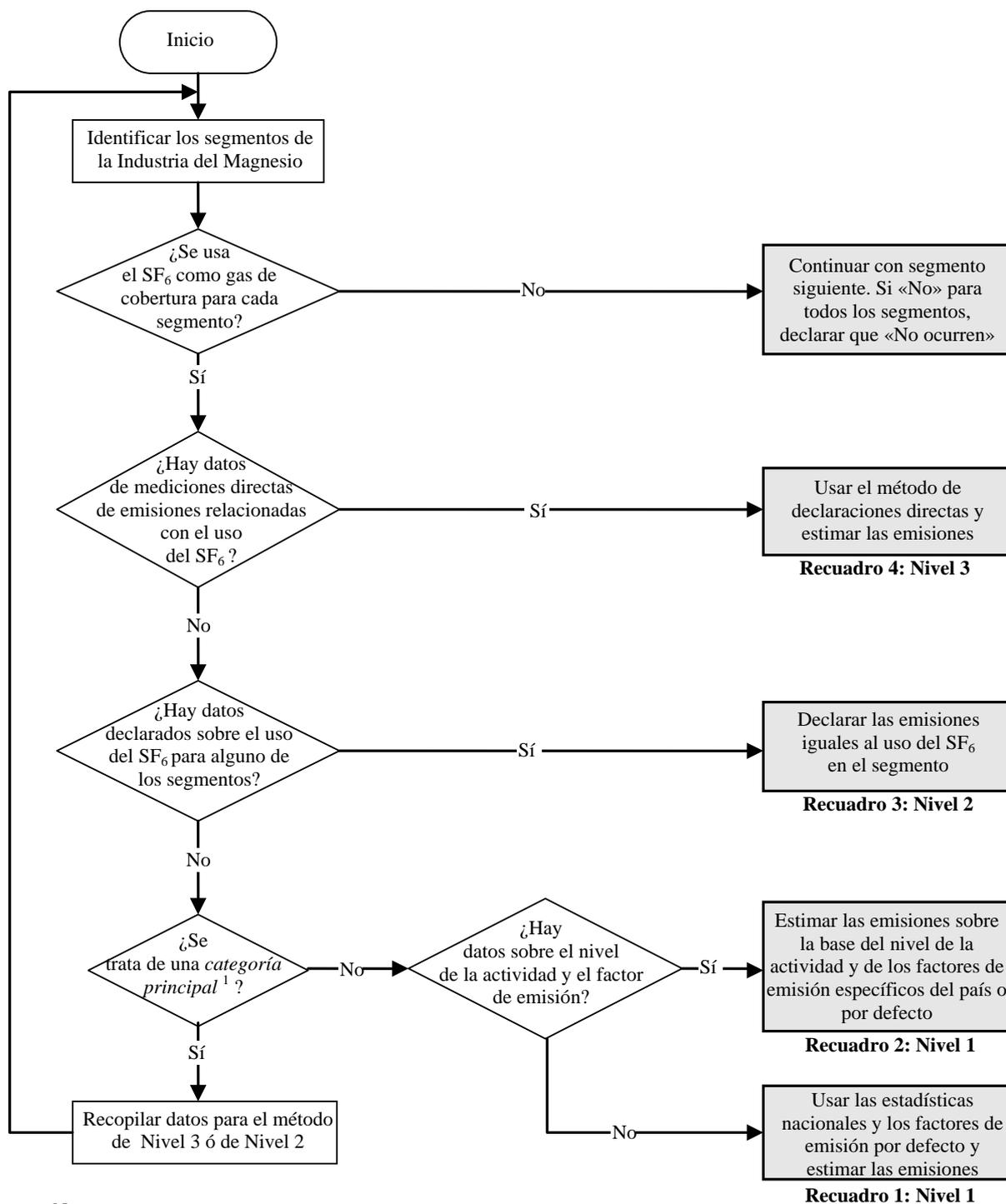
Figura 4.13 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la calcinación de las materias primas en el proceso de producción del magnesio**



Nota :

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

Figura 4.14 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de SF₆ provenientes del procesamiento del magnesio**



Nota :

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

HFC-134a, FK 5-1-12 y productos de descomposición (p. ej., PFC)

Como se describe en la Sección 4.5.1, el uso industrial de componentes fluorados, exceptuado el SF₆, para proteger el magnesio de la oxidación, comenzó en 2003-2004. Como tal, la experiencia industrial en el uso de estos compuestos con fines de protección del magnesio es todavía limitada. Incluso las plantas individuales disponen de pocos datos históricos, cuando los tienen, sobre las emisiones reales de estos otros compuestos fluorados generadas por sus operaciones. Aunque en la industria existe la idea general de que el volumen de uso de estos gases alternativos será menor que el del SF₆, en la actualidad no se dispone de datos en los cuales se puedan basar los factores de emisión. En consecuencia, no es posible desarrollar actualmente un método basado en un factor de emisión (Nivel 1 o 2) para declarar las emisiones.

Sin embargo, si las emisiones de GEI provenientes del uso de gases de cobertura para el magnesio constituyen una *categoría principal* nacional, es una buena práctica recolectar mediciones directas o mediciones indirectas significativas de emisiones de GEI (emisiones fugitivas de HFC134-a y FK 5-1-12, así como emisiones de PFC como productos de descomposición) desde las fundiciones de magnesio que utilizan HFC-134a o FK 5-1-12 como gases de cobertura. Esto es coherente con el método de Nivel 3.

Gases de transporte

La contribución del dióxido de carbono como gas de transporte utilizado en los sistemas de protección de gases de cobertura constituye una fracción pequeña del potencial de calentamiento atmosférico. En general, estas emisiones pueden ignorarse.

4.5.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

EMISIONES DE CO₂ DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA

Nivel 1 – factores de emisión por defecto

Como se ha mencionado anteriormente, en el método de Nivel 1, las emisiones se calculan a partir de factores de emisión por defecto que se aplican a la producción total de magnesio primario de un país. Los factores de emisión por defecto (Cuadro 4.19) toman en cuenta el tipo de material utilizado y los cocientes estequiométricos han sido ajustados mediante datos empíricos para las pérdidas genéricas del proceso de fabricación. La emisión de CO₂ resultante por tonelada de magnesio producido es considerablemente superior al volumen teórico descrito en la Sección 4.5.1.

CUADRO 4.19 FACTORES DE EMISIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE METAL MG PRIMARIO ESPECÍFICAS DE LOS MINERALES	
Materia prima	Toneladas de emisión de CO ₂ /tonelada de Mg primario producido
Dolomita	5,13
Magnesita	2,83

Nivel 2 – factores de emisión específicos del país y/o la compañía

El método de Nivel 2 para determinar las emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario implica recolectar factores de emisión empíricos y específicos de las compañías y/o plantas. Los factores de emisión específicos de la compañía pueden diferir sustancialmente de los factores de emisión por defecto, según los procedimientos de manipulación de los materiales de proceso. Esta recolección debe efectuarse si las emisiones corresponden a una *categoría principal*.

Nivel 3 – método de medición directa

Si se dispone de datos sobre las emisiones de CO₂ medidas efectivamente de las instalaciones individuales de magnesio primario, éstos pueden agregarse y emplearse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales.

PROCESOS DE MOLDEO DEL MAGNESIO (PRIMARIO Y SECUNDARIO)

SF₆

Nivel 1 – factores de emisión por defecto

La hipótesis fundamental para el método de Nivel 1 es que todo el consumo de SF₆ en este segmento de la industria se emite, aunque, como se describe en la Sección 4.5.1, esta hipótesis tenderá a sobreestimar las emisiones de GEI. En el método de Nivel 1 se supone también que no se conoce el tipo de operación de manipulación o de moldeo del magnesio (reciclado, moldeo de tochos o moldeo por inyección a presión, etc.) Bajo las condiciones recomendadas para el moldeo por inyección a presión, los índices de consumo son cercanos a 1 kg. de SF₆ por tonelada de magnesio producido o moldeo (Gjestland and Magers, 1996). Aunque el consumo de SF₆ varía sustancialmente entre las diferentes operaciones de moldeo y entre los diferentes operadores (a veces por órdenes de magnitud), el método básico de Nivel 1 emplea este valor como base para el cálculo del factor de emisión por defecto cuando el SF₆ se emplea para proteger el magnesio de la oxidación. Si los procesos de fabricación de magnesio nacionales están bien documentados, una aplicación más exacta del método de Nivel 1 consiste en desagregar los datos de la producción y los factores de emisión según los diferentes procesos de fabricación. Estos factores de emisión deben relacionar las emisiones de SF₆ con la producción de magnesio, al mismo nivel de desagregación que el de los datos de la actividad disponibles (p. ej., nacional, subnacional). Los factores nacionales de emisión basados en mediciones de planta son preferibles a los factores por defecto internacionales porque reflejan las condiciones específicas del país. Esa información puede obtenerse por intermedio de las asociaciones industriales, o mediante sondeos o estudios.

CUADRO 4.20 FACTORES DE EMISIÓN DE SF ₆ PARA LOS PROCESOS DE MOLDEO DEL MAGNESIO (NIVEL 1)	
Sistema de moldeo	kg. de emisión de SF ₆ por tonelada de Mg moldeo
Todos los procesos de moldeo	1,0
Fuente: Gjestland y Magers (1996)	

Nivel 2 – consumo de SF₆ específico de la compañía

Al igual que para el método de Nivel 1, el principio fundamental para el método de Nivel 2 es que todo el SF₆ consumido se emite. Sin embargo, se supone además que los datos de consumo nacional (o subnacional) de SF₆ en la industria del magnesio son declarados por la industria o disponibles por intermedio de otras fuentes tales como las estadísticas nacionales.

Normalmente, la aplicación más exacta del método es recolectar datos directos sobre el consumo de SF₆ de todos los usuarios individuales del gas en la industria del magnesio. Si no se dispone de datos directos, un método alternativo -aunque menos exacto- es estimar la parte del consumo anual de SF₆ que sea atribuible a la industria del magnesio. Exige recopilar datos anuales sobre las ventas nacionales de SF₆ y suponer que todo el gas SF₆ vendido a la industria del magnesio es emitido dentro del año.

Nivel 3 – método de la medición directa

Si se dispone de datos sobre emisiones reales medidas de las instalaciones individuales de procesamiento del magnesio, éstos pueden agregarse y emplearse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales. Al declarar estas emisiones, es una *buena práctica* incluir la destrucción del SF₆ y la formación de productos gaseosos secundarios.

HFC-134a, FK 5-1-12 y productos de descomposición (p. ej., PFC)

Como se ha descrito anteriormente, hay pocos datos históricos disponibles sobre los cuales basar los factores de emisión. Sin embargo, si las emisiones de GEI provenientes del uso de gases de cobertura para el magnesio constituyen una *categoría principal* nacional, es una *buena práctica*, a los fines del inventario, recolectar mediciones directas o mediciones indirectas fiables de las emisiones de GEI (emisiones fugitivas de HFC134-a y FK 5-1-12, así como emisiones de PFC como productos de descomposición) desde las fundiciones de magnesio que utilizan HFC-134a o FK 5-1-12 como gases de cobertura. Puede considerarse un método de Nivel 3. Con el tiempo, podrán usarse las mediciones de Nivel 3 como medio para desarrollar factores de emisión que podrán ser utilizados para el Nivel 2.

Gases de transporte

Como se ha mencionado ya en este capítulo, el aporte del dióxido de carbono como gas de transporte utilizado en los sistemas de protección de gases de cobertura constituye una fracción pequeña del potencial de calentamiento atmosférico. En general, estas emisiones pueden desecharse.

4.5.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

EMISIONES DE CO₂ DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA

Para el método de Nivel 1, los compiladores del inventario necesitan adquirir datos sobre la producción primaria nacional y conocimientos sobre las materias primas utilizadas en el país. Como se ha discutido en la Sección 4.5.2.1, puede suceder que estos datos no estén disponibles de manera pública y, por lo tanto, que sean difíciles de obtener, sobre todo en el caso de las pequeñas unidades de producción (las de tipo de reducción térmica, en particular) en los países en desarrollo. Los datos aproximados sobre la producción nacional de magnesio pueden estar disponibles a través de las asociaciones industriales tales como la Asociación Internacional del Magnesio. Para el método de Nivel 2, los compiladores del inventario deben recolectar datos sobre la producción de magnesio primario y sobre las materias primas carbonatadas de cada compañía y/o planta. En el método de Nivel 3, los datos de la actividad consisten en las emisiones directas medidas y declaradas.

PROCESOS DE MOLDEO DEL MAGNESIO (PRIMARIO Y SECUNDARIO)

SF₆

Para el método de Nivel 1, es una *buena práctica* desagregar los datos de producción por segmentos que utilizan el SF₆, en la medida de lo posible (p. ej., producción primaria, reciclado, moldeo de tochos, moldeo por inyección a presión, moldeo por gravedad, etc.), y aplicar los factores de emisión específicos disponibles de los segmentos. Allí donde no se disponga de datos desagregados, para realizar las estimaciones pueden usarse datos de producción más agregados, en lo posible combinando las salidas de varios procesos diferentes. A falta de datos sobre consumo de SF₆ o sobre producción de magnesio, la alternativa es recolectar datos nacionales anuales sobre las ventas de SF₆ a las industrias del magnesio. Los productores de SF₆ pueden estar en condiciones de proveer estos datos directamente o éstos pueden estar disponibles en las estadísticas nacionales. Al estimar la parte consumida por la industria del magnesio, es una *buena práctica* considerar los datos sobre el consumo de SF₆ por otras industrias que lo utilizan (p. ej., equipos eléctricos).

En los métodos de Nivel 3 y 2, los datos de actividad consisten en las emisiones declaradas de SF₆ (y de productos gaseosos secundarios) o los totales de consumo de SF₆ de cada planta. Para el método de Nivel 1 se necesitan datos sobre la producción de magnesio, ya sea nacionales o de las plantas individuales. Allí donde se declare un uso directo de SF₆ en un segmento, es una *buena práctica* evaluar la parte de la producción representada por las plantas que lo declaren directamente. Para las demás plantas, es una *buena práctica* utilizar las estimaciones de emisiones basadas en la producción.

HFC-134a, FK 5-1-12 y productos de descomposición (p. ej., PFC)

En el método de Nivel 3, los datos de la actividad consisten en las emisiones directas medidas y declaradas. No se proporciona ninguna orientación para los métodos de Nivel 1 o 2 y, por lo tanto, los datos de la actividad no son necesarios.

Gases de transporte

Al efectuar declaraciones de inventario, es una *buena práctica* que los datos de la actividad escogidos para los gases de transporte sean análogos a los de los compuestos activos utilizados. Es decir, si el CO₂ se utiliza como gas de transporte para el SF₆, los datos de la actividad del CO₂ deben reflejar los datos de actividad del SF₆. Si el CO₂ se utiliza como gas de transporte para el HFC-134a o el FK 5-1-12, los datos de la actividad deben reflejar los del HFC-134a o del FK 5-1-12.

4.5.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Las declaraciones directas incompletas o los datos de la actividad incompletos no deben constituir un problema serio para la producción primaria en los países desarrollados. Típicamente, en los países desarrollados existe un reducido número de productores de magnesio primario bien conocidos y es muy probable que lleven buenos registros. En los países en desarrollo, los problemas de exhaustividad aparecen en los segmentos de moldeo,

donde las plantas están distribuidas más extensamente y poseen un amplio espectro de capacidades y tecnologías. Algunas plantas pueden suministrar a mercados nicho que no están cubiertos por los conjuntos de datos nacionales. El compilador del inventario debe confirmar la ausencia de estimaciones para estas industrias más pequeñas en vez de suponer simplemente que las emisiones no se producen. Es también una *buena práctica* emprender encuestas periódicas sobre la industria y establecer vínculos estrechos con las asociaciones industriales internacionales y locales, para verificar la exhaustividad de las estimaciones.

Debido a que los sistemas alternativos de gases de cobertura (no SF₆) los descomponen en varios productos derivados fluorados, puede suceder que una cierta parte no contabilizada del potencial de calentamiento atmosférico no esté descrita. No se espera que sea significativo.

Dado que una fracción cada vez mayor de la producción primaria mundial, así como el procesamiento del magnesio, ocurre en muchas unidades pequeñas de producción en países con economías en desarrollo, es esperable que la exhaustividad se transforme en un problema significativo.

Los compiladores del inventario deben abordar con cautela la posibilidad de cálculos dobles en las emisiones provenientes de la calcinación de las materias primas que contienen carbonato de magnesio, durante la producción de magnesio primario, así como en las emisiones asociadas con la calcinación de la piedra caliza, la dolomita y otros minerales carbonáceos (véase el Capítulo 2, Otros usos de carbonatos en los procesos, en este volumen). Todas las emisiones asociadas con la calcinación de carbonatos para la producción de magnesio primario deben declararse como emisiones de GEI provenientes de la producción de magnesio.

4.5.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Típicamente, los datos de la historia de una planta estarán disponibles bajo la forma de estadísticas sobre su producción general de magnesio. Sin embargo, en algunos casos, los datos históricos de producción pueden no estar disponibles debido a la ausencia de registros iniciales o a cambios en la estructura de la industria en los periodos intermediarios. En este caso se pueden usar datos obtenidos de fuentes internacionales.

Pueden surgir problemas al establecer una serie temporal coherente para las emisiones de CO₂ generadas por la producción de magnesio primario, pues estas emisiones pueden no haber sido declaradas para años anteriores al 2006 (las directrices para declararlas no existían en las *Directrices revisadas de 1996* (IPCC, 1997)). Se puede suponer, sin embargo, que para la mayoría de las instalaciones de producción de magnesio primario, el nivel de las emisiones de CO₂ por tonelada de magnesio producido permanece relativamente constante a través del tiempo.

En términos de las emisiones de SF₆, para establecer una serie temporal coherente por el método de Nivel 1, es de *buena práctica* multiplicar los datos históricos de la actividad por los factores de emisión por defecto subnacionales y/o nacionales actualmente en uso. Nótese que, típicamente, los factores de emisión específicos de las plantas deberían disminuir con el tiempo debido a una mayor conciencia ambiental, a factores económicos y al mejoramiento de las tecnologías y de las prácticas.

Puesto que la industria del magnesio no ha utilizado de manera significativa los gases de cobertura HFC-134a y FK 5-1-12 en ningún país antes de 2003, es probable que las emisiones históricas correspondientes sean nulas. Dado el nivel de complejidad de las declaraciones de emisiones relacionadas con el uso de estos gases, el desarrollo de una serie temporal coherente constituye un verdadero desafío para los compiladores del inventario.

Es una *buena práctica* evaluar los factores de emisión históricos apropiados siguiendo las orientaciones del Volumen 1, Capítulo 5. Para garantizar la coherencia a través del tiempo, es una *buena práctica* recalcular las estimaciones de emisiones empleando métodos utilizados previamente y métodos nuevos, para garantizar que toda tendencia en las emisiones sea real y no un resultado de los cambios en las metodologías de estimación. Es de *buena práctica* documentar las hipótesis para todos los casos y mantenerlas en el archivo del compilador del inventario.

4.5.3 Evaluación de incertidumbre

EMISIONES DE CO₂ DE LA PRODUCCIÓN PRIMARIA

Al nivel de las plantas, se deben documentar bien los análisis, los tipos y los usos de las materias primas, así como el tonelaje del magnesio producido. Típicamente, los datos de actividad declarados directamente y requeridos por los métodos de Nivel 2 y 3 para todos los gases, son exactos dentro de un margen del 5 por ciento. Al nivel de los inventarios nacionales, la exactitud en los datos de la actividad sobre la producción de magnesio y las emisiones es comparable con la de otras estadísticas de producción (vale decir, ± 5 por ciento). La incertidumbre adicional se introduce a través de la estimación de la parte de la producción que no se declara directamente.

PROCESOS DE MOLDEO DEL MAGNESIO (PRIMARIO Y SECUNDARIO)

SF₆

En el método de Nivel 1, agregar la producción de los diferentes segmentos secundarios y usar el factor de emisión por defecto introduce incertidumbre. Por ejemplo, los datos nacionales sobre las operaciones de moldeo pueden no estar diferenciados en segmentos de moldeo por inyección a presión y de moldeo por gravedad, a pesar de sus diferentes índices de emisión de SF₆. En consecuencia, este método proporciona, por defecto, una aproximación muy pobre de las emisiones reales. Dado que las diferentes operaciones de manipulación y moldeo pueden utilizar concentraciones de SF₆ en el gas de cobertura que difieren en órdenes de magnitud, al emplear el método de Nivel 1, las incertidumbres pueden variar también por órdenes de magnitud. Para los métodos de Nivel 1 y 2, hay también un nivel de incertidumbre asociado con la hipótesis de que el 100 por ciento del SF₆ utilizado es emitido. En una típica operación de moldeo, la incertidumbre asociada con esta hipótesis debe situarse dentro de un 30 por ciento (Bartos *et al.*, 2003).

Para el método de Nivel 2, la incertidumbre asociada con el uso de SF₆ al nivel de las plantas es muy reducida, ya que el uso del SF₆ se mide con facilidad y exactitud a partir de los datos de compras. (Por lo general, una estimación de incertidumbre inferior al 5 por ciento resulta apropiada para los datos declarados directamente.)

Para el método de Nivel 3, las incertidumbres surgen principalmente de la exactitud y/o calibración de los equipos de monitoreo. Los métodos típicos de análisis de los gases, tales como la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR, del inglés, *Fourier Transformed Infra Red Spectroscopy*) operan generalmente con una exactitud estimada de ± 10 por ciento. Además del FTIR y de técnicas analíticas similares, habrá más incertidumbre causada por problemas relacionados con la representatividad de las muestras y con la calibración, las cuales pueden aumentar la incertidumbre general del FTIR hasta un ± 20 por ciento.

HFC-134a, FK 5-1-12 y productos de descomposición (p. ej., PFC)

Al igual que para el método de Nivel 3 respecto del SF₆, en los procesos que emplean los gases de cobertura HFC-134a o FK 5-1-12, las incertidumbres principales están asociadas con la exactitud y/o calibración de los equipos de monitoreo. Las incertidumbres son aproximadamente de un ± 10 por ciento.

Gases de transporte

La incertidumbre más grande está asociada con el método de Nivel 1, donde se considera que las emisiones de CO₂ generadas por los gases de cobertura son insignificantes. Es particularmente cierto si una planta emplea una mezcla de gases de transporte muy rica en CO₂. Los otros niveles poseen las mismas incertidumbres que las relacionadas con el SF₆.

4.5.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

4.5.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, Capítulo 6, así como procedimientos adicionales de garantía de calidad, en particular para métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales*, según lo identificado en el Volumen 1, Capítulo 4.

En la sección siguiente se esbozan procedimientos adicionales específicos para la producción de magnesio:

Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos

Si las emisiones han sido calculadas utilizando datos de las plantas individuales, los compiladores deben comparar las estimaciones con las emisiones calculadas mediante los datos sobre la producción nacional de magnesio, o bien, (en el caso del SF₆) mediante los datos de consumo atribuidos al uso del magnesio. Los resultados de esta comparación deben ser registrados y toda discrepancia debe ser investigada.

Revisión de los datos al nivel de la planta

La siguiente información específica de plantas debe archivarse para facilitar una revisión independiente:

- Volúmenes de producción de magnesio y tipos de procesos;

- Consumo y/o composición de los gases de cobertura con potencial de calentamiento atmosférico (SF₆, HFC-134a, FK 5-1-12, CO₂, etc.) o producción de magnesio (donde se utilizan factores);
- Resultados de GC/CC al nivel de plantas (incluida la documentación sobre el muestreo, el método de medición y los resultados de las mediciones para los datos al nivel de plantas);
- Resultados de GC/CC realizado por una organización de agrupamiento (p. ej., una asociación industrial tal como la Asociación Internacional del Magnesio);
- El método utilizado para los cálculos y las estimaciones; y
- Donde sea pertinente, una lista de las hipótesis formuladas al atribuir el uso nacional del SF₆, HFC-134a, FK 5-1-12, u otros gases de cobertura de interés o al atribuir la producción al nivel de plantas.

Los compiladores del inventario deben determinar si se han utilizado las normas internacionales de medición para declarar el consumo de gases de cobertura que producen calentamiento atmosférico (SF₆, HFC-134a, FK 5-1-12, etc.) o los datos de producción de magnesio al nivel de las plantas individuales. Si no se siguieron métodos estándar ni procedimientos de GC/CC, entonces se debe reconsiderar el uso de estos datos de la actividad.

Revisión de los datos de la actividad

Las actividades de GC/CC asociadas con la referencia a los datos sobre producción de magnesio deben ser evaluadas y referenciadas. Los compiladores del inventario deben verificar si la asociación comercial o entidad que ha compilado los datos nacionales de producción ha utilizado procedimientos de GC/CC aceptables. Si se considera que los procedimientos de GC/CC son aceptables, los compiladores deben referir la actividad de GC como parte de la documentación de GC/CC.

Evaluación de los factores de emisión

Allí donde se emplean factores específicos de las compañías y/o de los países, los compiladores del inventario deben revisar el nivel de GC asociado a los datos subyacentes. Es una *buena práctica* que los compiladores efectúen verificaciones cruzadas de los factores por defecto de nivel nacional para determinar si son representativos o no.

Revisión de pares

Los compiladores del inventario deben involucrar a expertos de la industria del magnesio en una revisión metódica de las estimaciones del inventario, prestando atención a eventuales problemas de confidencialidad. Los datos históricos sobre producción pueden ser menos sensibles a la divulgación pública que los datos actuales y pueden utilizarse para una revisión externa de pares sobre las emisiones al nivel de las plantas.

Verificación de los datos de emisiones de SF₆

Los compiladores deben sumar las cantidades de SF₆ utilizadas por los diferentes sectores industriales (p. ej., magnesio, equipos eléctricos) y comparar este valor con el uso total de SF₆ en el país, obtenido de los datos sobre importaciones y/o exportaciones y producción. Esto proporciona un límite superior para las emisiones potenciales.¹⁶

4.5.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

Para mejorar la transparencia, es una *buena práctica* declarar las estimaciones de emisiones de la categoría de fuente del magnesio por separado, por segmentos industriales, tales como producción primaria, producción secundaria y moldeo.

¹⁶ Puede que no sea siempre el caso que tales datos agregados sobre el consumo provean un límite superior para las emisiones. Es posible, según las características nacionales de las industrias consumidoras de SF₆, que en algunos años las emisiones reales de SF₆ sean superiores al consumo de SF₆. Por ejemplo, el consumo en el moldeo por inyección a presión puede ser muy bajo, puede que no haya mucha fabricación de semiconductores, pero un banco considerable de SF₆ puede haberse desarrollado a través de los años en los equipos eléctricos. En este caso, las fugas desde el banco, combinadas con las emisiones producto del desmantelamiento de los equipos, pueden conducir a emisiones efectivas que sobrepasan el consumo de SF₆ (emisiones potenciales). Véase también la Sección 8.2 sobre emisiones de SF₆ provenientes de los equipos eléctricos.

La información adicional siguiente puede proporcionar un nivel razonable de transparencia en los informes:

Declaración directa

- Número de plantas de magnesio que declaran;
- Tipos de procesos y de fabricación empleados;
- Magnesio y productos de magnesio producidos;
- Emisiones de SF₆ asociadas con el segmento del magnesio;
- Uso de gases de cobertura con potencial de calentamiento atmosférico; y
- Datos sobre el factor de emisión (y referencias) para cada gas de cobertura protector con potencial de calentamiento atmosférico.

Estimación de emisiones potenciales basada en las ventas nacionales de gases de cobertura

- Consumo nacional de SF₆ (y referencia);
- Uso nacional de HFC-134a atribuido al sector del magnesio;
- Uso nacional de FK 5-1-12 atribuido al sector del magnesio;
- Hipótesis formuladas para asignar el SF₆, HFC-134a, FK 5-1-12 utilizado al magnesio;
- Estimación del porcentaje nacional de SF₆, HFC-134a, FK 5-1-12 utilizado en el magnesio (y referencia); y
- Todas las demás hipótesis formuladas.

En la mayoría de los países, la industria del magnesio está representada por un reducido número de plantas. En esta industria, los datos sobre niveles de actividad y sobre emisiones de gases de cobertura (que estén directamente relacionados con los niveles de la actividad) pueden ser considerados información comercial confidencial y las declaraciones públicas pueden estar sujetas a consideraciones de confidencialidad.

4.6 PRODUCCIÓN DE PLOMO

4.6.1 Introducción

PROCESOS DE PRODUCCIÓN PRIMARIA

Existen dos procesos primarios para la producción de plomo en bruto a partir de concentrados de plomo. El primer tipo es el de la sinterización/fundición, que consiste en etapas secuenciales de sinterización y de fundición y que representa alrededor del 78 por ciento de la producción primaria de plomo. El segundo tipo es el de la fundición directa, que elimina la etapa de sinterización y constituye el 22 por ciento restante de la producción primaria de plomo en el mundo desarrollado. (Sjardin, 2003)

En el proceso de sinterización/fundición, la sinterización inicial mezcla los concentrados de plomo con sinterizados reciclados, piedra caliza y sílice, oxígeno y lodos con alto contenido de plomo, para eliminar el azufre y los metales volátiles mediante la combustión (Metallurgical Industry, 1995). El proceso, que produce un sinterizado tostado compuesto de óxido de plomo y otros óxidos metálicos, resulta en la emisión de dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de carbono (CO₂) relacionado con la energía, proveniente del gas natural utilizado para encender los óxidos de plomo. El sinterizado tostado se introduce en un alto horno junto con minerales que contienen otros metales, aire, productos derivados de fundición y coque metalúrgico (Metallurgical Industry, 1995). El coque se quema al reaccionar con el aire y produce monóxido de carbono (CO) que es el que provoca la reacción de reducción química del óxido de plomo (DOE, 2002). El proceso de fundición ocurre, ya sea en un alto horno tradicional o en un horno de fundición *Imperial Smelting Furnace* (ISF) y es la reducción del óxido de plomo durante el proceso la que produce las emisiones de CO₂ (Sjardin, 2003).

El proceso de sinterización produce plomo en bruto fundido (Metallurgical Industry, 1995). En el proceso de fundición directa, la etapa de sinterización es omitida y el concentrado de plomo y otros materiales entran directamente a un horno en el cual son fundidos y oxidados (Sjardin, 2003). Para el proceso de fundición directa se emplean una variedad de hornos, entre los cuales los hornos Isasmelt-Ausmelt, Queneau-Schumann-Lurgi, y Kaldo que se utilizan para la fundición en baño y el horno Kivcet, que se usa para la fundición flash. En el proceso se emplean una serie de agentes reductores que incluyen el carbón, el coque metalúrgico y el gas natural, en cantidades diferentes para cada horno, lo cual resulta en diferentes niveles de emisiones de CO₂ para cada tipo de horno (Sjardin, 2003; LDA, 2002). El proceso de fundición directa, al evitar el proceso de sinterizado, ofrece ventajas ambientales y significativas reducciones de costos; por lo tanto, se espera que en el futuro forme parte de una creciente porción de la producción de plomo primario de refinería.

PROCESOS DE PRODUCCIÓN SECUNDARIA

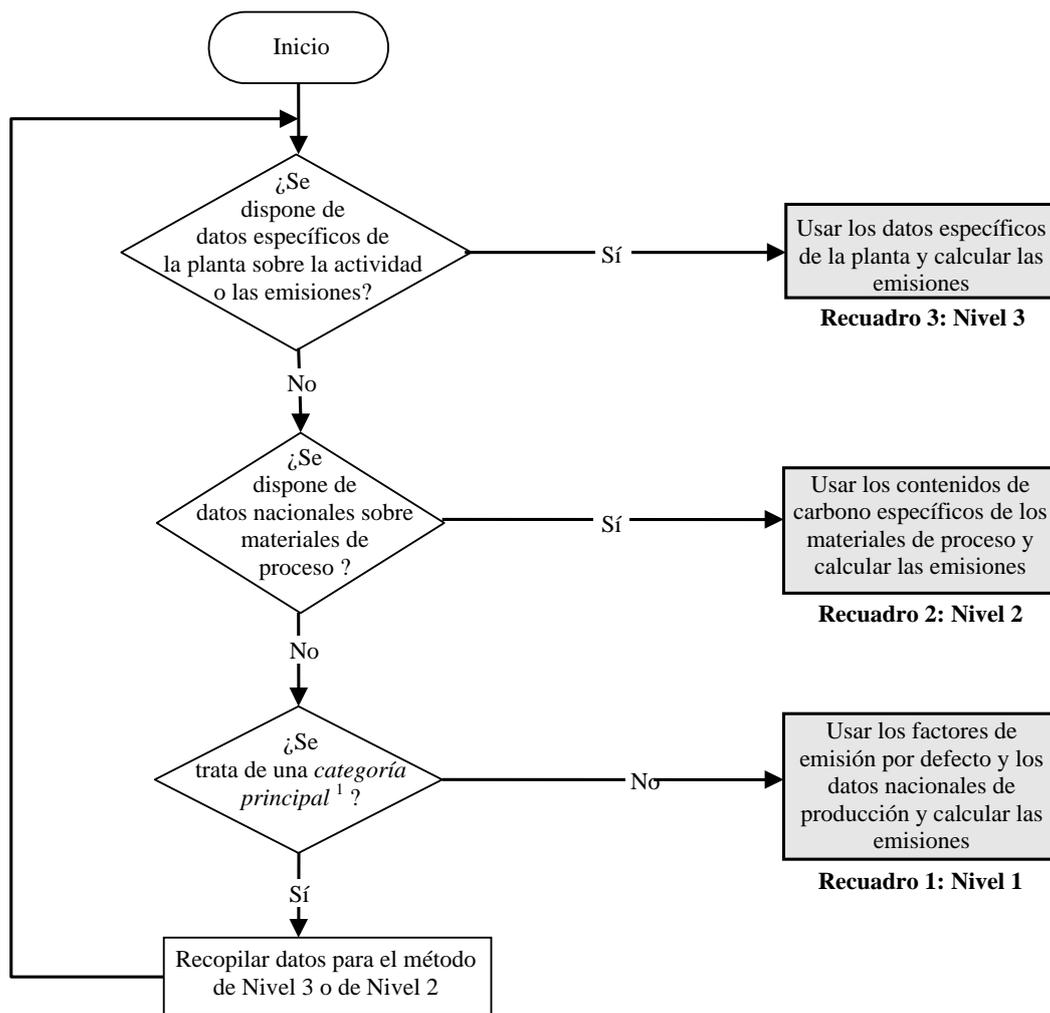
La producción secundaria de plomo refinado consiste en el procesamiento del plomo reciclado con el fin de prepararlo para su reutilización. La gran mayoría de este plomo reciclado proviene de la chatarra de plomo de las baterías ácidas. Las baterías ácidas de plomo, ya sea se trituran con molino de martillo y se introducen en el proceso de fundición con o sin desulfurización, o bien, se funden enteras (Sjardin, 2003). Los altos hornos tradicionales, los *Imperial Smelting Furnaces*, los hornos al arco eléctrico, los hornos de resistencia eléctrica, los de reverbero, los Isasmelt, Queneau-Schumann-Lurgi y Kivcet, pueden ser utilizados para fundir estas baterías o la chatarra de plomo reciclado (Sjardin, 2003). Al igual que en el caso de los hornos utilizados para la producción primaria de plomo en bruto, estos hornos generan diferentes niveles de emisiones de CO₂ a partir del uso de diferentes tipos y cantidades de agentes reductores. Los agentes reductores primarios son el carbón, el gas natural y el coque metalúrgico, aunque el horno de resistencia eléctrica emplea coque de petróleo (Sjardin, 2003).

4.6.2 Cuestiones metodológicas

4.6.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

En las *Directrices del IPCC* se bosquejan tres métodos para calcular las emisiones de CO₂ generadas por la producción de plomo. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión del Figura 4.15. El método de Nivel 1 emplea factores de emisión generales que se aplican a la producción total de plomo de un país para calcular las emisiones y es el menos exacto. Este método es apropiado sólo cuando la producción de plomo no es una *categoría principal*. El método de Nivel 2 emplea datos sobre los materiales de proceso específicos del país, tanto para la producción primaria como para la secundaria, que se multiplican por el contenido apropiado de carbono de los materiales. El método de Nivel 3 requiere datos de mediciones sobre actividades o emisiones específicas de la instalación.

Figura 4.15 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de plomo**



Nota :
 1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

MÉTODO DE NIVEL 1

El método más simple de estimación consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por la producción de plomo. Cuando los únicos datos disponibles sean las estadísticas sobre la producción nacional de plomo, es una *buena práctica* utilizar los factores de emisión por defecto. La Ecuación 4.32 permite calcular las emisiones totales de dióxido de carbono generadas por la producción de plomo mediante la suma de las emisiones por fuente y dando cuenta de las emisiones provenientes del tratamiento previo de las sustancias de alimentación al proceso. Si no es posible diferenciar el tipo de proceso de producción, se debe usar el factor de emisión por defecto. Este factor se basa en la hipótesis de que el 80 por ciento de la producción (incluidas, tanto la primaria como la secundaria) se funde en hornos *Imperial Smelting Furnaces* o en altos hornos, mientras que el 20 por ciento restante se funde empleando el método de fundición directa en hornos Kivcet, Ausmelt y Queneau-Schumann-Lurgi. Esta hipótesis es coherente con los datos mundiales de producción de plomo (Sjardin, 2003).

ECUACIÓN 4.32
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE PLOMO

$$E_{CO_2} = DS \cdot EF_{DS} + ISF \cdot EF_{ISF} + S \cdot EF_S$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ generadas por la producción de plomo, toneladas

DS = cantidad de plomo producido por fundición directa, toneladas

EF_{DS} = factor de emisión para la fundición directa, toneladas de CO₂/tonelada de producto de plomo

ISF = cantidad de plomo producido en hornos *Imperial Smelting Furnaces*, toneladas

EF_{ISF} = factor de emisión para los hornos *Imperial Smelting Furnaces*, toneladas de CO₂/tonelada de producto de plomo

S = cantidad de plomo producido a partir de materiales secundarios, toneladas

EF_S = factor de emisión para los materiales secundarios, toneladas de CO₂/tonelada de producto de plomo

Los factores de emisión de CO₂ utilizados en la Ecuación 4.32 se presentan en el Cuadro 4.21.

MÉTODO DE NIVEL 2

En el método de Nivel 2 se reconoce que existen diferencias sustanciales de emisiones de dióxido de carbono para la producción de plomo, según la metodología de producción y la fuente de las materias primas, ya sea de las fuentes secundarias tales como las baterías recicladas, o bien, de los minerales para la producción primaria. Las fuentes secundarias de plomo pueden recibir un tratamiento previo para eliminar las impurezas, lo que genera emisiones de dióxido de carbono. Las emisiones se pueden calcular empleando factores de emisión específicos del país basados en el uso de agentes reductores, en los tipos de hornos y en otros materiales de proceso de interés. Los factores pueden desarrollarse basándose en los contenidos de carbono propios de esos materiales. El Cuadro 4.22 proporciona los contenidos de carbono que pueden utilizarse para derivar los factores específicos del país. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías individuales del plomo. El Nivel 2 es más exacto que el 1 porque toma en cuenta los materiales y la variedad de tipos de horno utilizados en el sector del plomo que contribuyen a las emisiones de CO₂ en un país en particular, en vez de suponer prácticas industriales generalizadas a escala mundial.

MÉTODO DE NIVEL 3

Si se dispone de datos reales sobre las emisiones de CO₂ medidas directamente de las plantas productoras de plomo, éstos pueden agregarse y emplearse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales mediante el método de Nivel 3. El total de las emisiones nacionales corresponde a la suma de las emisiones declaradas por cada planta. Si no se dispone de las emisiones de las instalaciones, deben calcularse las emisiones a partir de los datos específicos de la planta para los agentes reductores individuales y otros materiales de proceso. Para alcanzar un nivel de exactitud superior al del Nivel 2, es una *buena práctica* desarrollar estimaciones de emisiones al nivel de las plantas pues las plantas pueden diferir sustancialmente en sus tecnologías, en particular en la tecnología de los hornos. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación o energía, o bien, de las asociaciones comerciales e industriales, pero se prefiere agregarlos a partir de los datos proporcionados por las plantas de plomo individuales.

4.6.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

MÉTODO DE NIVEL 1

Cuando los únicos datos disponibles sean las estadísticas sobre la producción nacional de plomo, es una *buena práctica* utilizar un factor de emisión por defecto de 0,52 toneladas de CO₂/tonelada de plomo (Sjardin 2003). Este valor por defecto debe utilizarse sólo cuando no se disponga de información sobre las cantidades relativas de plomo producido a partir de los materiales primarios y secundarios. Si se dispone de información, las emisiones deben calcularse mediante los factores apropiados del Cuadro 4.21 (Sjardin, 2003). La incertidumbre del factor por defecto es elevada y varía según la mezcla de métodos de producción y del porcentaje de procesamiento secundario. Además, el factor se basa en la hipótesis de que el 80 por ciento de la producción mundial de plomo (incluidas, tanto la primaria como la secundaria) se funde en hornos *Imperial Smelting Furnaces*, mientras que el 20 por ciento restante se funde empleando el método de fundición directa, en hornos Kivcet, Ausmelt y Queneau-Schumann-Lurgi (Sjardin, 2003).

CUADRO 4.21 FACTORES GENÉRICOS DE EMISIÓN DE CO₂ PARA LA PRODUCCIÓN DE PLOMO POR FUENTE Y TIPO DE HORNO (toneladas de CO₂/tonelada de producto)			
Producción en hornos <i>Imperial Smelt Furnace (ISF)</i>	Producción por fundición directa (DS)	Por tratamiento de materias primas secundarias	Factor de emisión por defecto (80% ISF, 20% DS)
0,59	0,25	0,2	0,52

Fuente: Sjardin (2003).

MÉTODO DE NIVEL 2

Este método ofrece la oportunidad de ajustar los factores de emisión para que reflejen las variaciones respecto de las normas supuestas, basándose en datos específicos de las plantas para el contenido de carbono de estos materiales y basándose en los tipos de horno utilizados. El contenido de carbono por defecto del Cuadro 4.22 debe utilizarse si el compilador de inventario no posee información sobre las condiciones en las plantas de plomo, pero posee datos detallados de la actividad sobre los materiales de proceso. Los valores por defecto del Cuadro 4.22 se han derivado de los valores por defecto de los Cuadros 1.2 y 1.3 del Volumen 2, Capítulo 1 y deben ser referidos para más información.

CUADRO 4.22 CONTENIDO DE CARBONO ESPECÍFICO DE LOS MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE PLOMO (kg. de carbono/kg.)	
Materiales de proceso	Contenido de carbono
Gas de alto horno	0,17
Carbón vegetal*	0,91
Carbón ¹	0,67
Alquitrán de hulla	0,62
Coque	0,83
Gas de horno de coque	0,47
Carbón coquizable	0,73
Electrodos de carbono para EAF ²	0,82
Carbono de carga en el EAF ³	0,83
Fuelóleo ⁴	0,86
Coque para gas	0,83
Gas natural	0,73
Coque de petróleo	0,87

Fuente: En los Cuadros 1.2 y 1.3 del Volumen 2, Capítulo 1, se incluyen referencias para los datos sobre contenido de carbono.

Notas:

¹ Supuesto otro carbón bituminoso

² Supuesto 80 por ciento de coque de petróleo y 20 por ciento de alquitrán de hulla

³ Supuesto coque de horno de coque

⁴ Supuesto gasóleo/combustible diésel

* La cantidad de emisiones de CO₂ a partir del carbón vegetal puede calcularse usando este valor de contenido de carbono, pero debe declararse como nula en los inventarios nacionales sobre gases de efecto invernadero. (Véase la Sección 1.2 del Volumen 1.)

MÉTODO DE NIVEL 3

El método de Nivel 3 está basado en estimaciones agregadas de emisiones o en la aplicación del método de Nivel 2 al nivel específico de la planta. El compilador del inventario de garantizar que cada planta haya documentado los factores de emisión y los contenidos de carbono utilizados, y que estos factores de emisión correspondan a los procesos y a los materiales allí utilizados. Para el método de Nivel 3 se requieren los contenidos de carbono y los cocientes de masa producción/consumo para todos los materiales de proceso y las transferencias fuera de la instalación, tales como las que se enumeran en el Cuadro 4.22. Aún cuando en el Cuadro 4.22 se proporcionan

contenidos de carbono por defecto, para el Nivel 3 es una *buen práctica* ajustar estos valores para que reflejen las variaciones al nivel de la planta respecto de los valores por defecto representados en el cuadro. Los factores por defecto del Cuadro 4.22 son apropiados para el método de Nivel 3 sólo si la información específica de la planta indica que corresponden a las condiciones reales. Se anticipa que para el método de Nivel 3, los datos específicos de la planta incluyen, tanto los datos sobre los contenidos de carbono, como los datos sobre los cocientes de masa producción/consumo y que, en consecuencia, en la mayoría de los casos los valores por defecto del Cuadro 4.22 no serán aplicados al método de Nivel 3.

4.6.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

MÉTODO DE NIVEL 1

Para el método de Nivel 1 se requiere solamente la cantidad de plomo producido en el país y, si está disponible, la cantidad producida por tipo de horno. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de plomo individuales. Estos tonelajes pueden entonces multiplicarse por los factores de emisión correspondientes del Cuadro 4.21, para estimar las emisiones de CO₂ del sector o el factor por defecto si el tipo de horno no está disponible.

MÉTODO DE NIVEL 2

Para el método de Nivel 2 se requiere la cantidad total de agentes reductores y de otros materiales de proceso empleados para la producción de plomo en el país. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías individuales de plomo. Estas cantidades pueden entonces multiplicarse por el contenido de carbono apropiado, tomado del Cuadro 4.22, y sumarse para determinar el total de emisiones de CO₂ del sector. Sin embargo, se prefieren los datos de la actividad recolectados al nivel de las plantas (Nivel 3). Si ésta no constituye una *categoría principal* y si no se dispone de datos sobre el total de agentes reductores y de materiales de proceso para todas las industrias, las emisiones pueden estimarse mediante el método de Nivel 1.

MÉTODO DE NIVEL 3

Para el método de Nivel 3 se requiere recolectar, compilar y agregar datos sobre las emisiones o las actividades específicas de las instalaciones. El método de Nivel 3 puede requerir también de datos de la actividad recolectados al nivel de las plantas y agregados para el sector. De esta manera, las cantidades de agentes reductores y los tipos de horno utilizados se determinan con mayor exactitud. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación o energía o de las asociaciones comerciales e industriales, pero se prefiere agregarlos a partir de los datos proporcionados por las plantas individuales de plomo. Este método permite también alcanzar una mayor exactitud al permitir que las compañías individuales aporten datos específicos de planta más exactos y/o utilicen factores de emisión más pertinentes para reflejar el contenido de carbono y los tipos de hornos que pueden diferir de los factores por defecto empleados en el método de Nivel 2.

4.6.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Al estimar las emisiones de CO₂ provenientes de esta categoría de fuente, existe el riesgo de cómputo doble o de omisión tanto en el Sector IPPU como en el Sector Energía. Como orientación general, todas las emisiones de proceso provenientes de la producción de plomo deben declararse en el Sector IPPU.

4.6.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones originadas por la producción de plomo deben calcularse utilizando el mismo método para todos los años de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método de Nivel 3 para todos los años de la serie temporal, deben recalcularse los vacíos según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5, Coherencia de la serie temporal y repetición de los cálculos.

4.6.3 Evaluación de incertidumbre

Las incertidumbres en la producción del plomo resultan esencialmente de las incertidumbres asociadas con los datos de la actividad y de la incertidumbre relacionada con el factor de emisión. En el Cuadro 4.23 se presenta un panorama general de las incertidumbres asociadas a los factores de emisión y a los datos de la actividad.

4.6.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Los factores de emisión por defecto empleados en el Nivel 1 pueden tener una incertidumbre de ± 50 por ciento. Se estima que los contenidos de carbono para el Nivel 2 poseen una incertidumbre de ± 15 por ciento. Cuando se dispone de datos sobre el contenido de carbono específico de la planta, se espera que el error en los factores de emisión específicos de la unidad de Nivel 3 sea de un 5 por ciento.

4.6.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Las estadísticas de la producción nacional deben estar disponibles y tener una incertidumbre probable de ± 10 por ciento. Para el Nivel 2, la cantidad total de agentes reductores y de materiales de proceso utilizada en la producción del plomo deben tener un error probable de 10 por ciento. El método de Nivel 3 requiere información específica sobre la producción de las plantas (alrededor del 5 por ciento de incertidumbre). Además, se espera que los datos sobre emisiones reales para el Nivel 3 tengan una incertidumbre de ± 5 por ciento.

CUADRO 4.23 INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE		
Método	Fuente de los datos	Intervalo de incertidumbre
Nivel 1	Datos de producción nacional	$\pm 10\%$
	Factor de emisión por defecto	$\pm 50\%$
	Factores de emisión por tipo de proceso	$\pm 20\%$
Nivel 2	Cantidades y tipos de agentes de reducción utilizados	$\pm 10\%$
	Contenido de carbono de los materiales de proceso	$\pm 15\%$
Nivel 3	Derivado en la instalación = datos sobre materiales de proceso	$\pm 5\%$
	Datos sobre las mediciones de CO ₂ específicos de la instalación	$\pm 5\%$
	Factores de emisión específicos de las instalaciones	$\pm 5\%$

4.6.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

4.6.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, Capítulo 6 y procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los organismos responsables del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* según se identifica en el Volumen 1, Capítulo 4.

Además de la orientación del Volumen 1, Capítulo 6 se bosquejan a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Revisión de los factores de emisión

Los compiladores del inventario deben comparar los factores de emisión agregados nacionalmente con los factores por defecto del IPPC con el fin de determinar si el factor nacional es razonable en relación con el factor por defecto del IPPC. Las diferencias existentes entre los factores nacionales y los factores por defecto deben explicarse y documentarse, en particular si son representativas de circunstancias diferentes.

Verificación de los datos de actividad específicos de la instalación

Para los datos específicos de la instalación, los compiladores deben revisar las incoherencias entre instalaciones para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de

diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Para la producción del plomo, los compiladores deben comparar los datos de la planta con los de otras plantas.

Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de la actividad se determinen de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces la utilización de estas emisiones o datos de la actividad debe evaluarse cuidadosamente, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones. Es también posible que en los sitios donde están en vigor parámetros altos de mediciones y de GC/CC, la incertidumbre en la estimación de emisiones sea revisada a la baja.

Revisión de expertos

En el proceso de revisión, los compiladores del inventario deben incluir las principales organizaciones industriales y comerciales relacionadas con la producción del plomo. Este proceso debe comenzar durante la etapa inicial del desarrollo del inventario, de modo que contribuya al desarrollo y la revisión de los métodos y a la adquisición de los datos.

Para esta categoría de fuente puede ser útil recurrir también a revisores independientes, particularmente en relación con la recopilación inicial de datos, el trabajo de medición, la transcripción, los cálculos y la documentación.

Verificación de los datos de la actividad

Para todos los Niveles, los compiladores del inventario deben realizar verificaciones apoyándose en el Volumen 2: Energía, para garantizar que las emisiones generadas por los agentes reductores y los materiales de proceso (carbón, coque, gas natural, etc.) no se contabilizadas por partida doble ni omitidas.

Los compiladores del inventario deben examinar toda incoherencia entre los datos de diferentes plantas para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Es particularmente pertinente para las estimaciones específicas de plantas sobre las cantidades de agentes reductores o sobre los contenidos de carbono declarados para los materiales de proceso.

Allí donde se disponga de datos comerciales sobre el consumo de materiales de proceso, los compiladores del inventario deben comparar la agregación de las estimaciones al nivel de plantas con los totales de la industria.

4.6.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

MÉTODO DE NIVEL 1

Además de declarar las estimaciones de emisiones, es una *buena práctica* declarar la producción total de plomo por proceso y los correspondientes factores de emisión utilizados.

MÉTODO DE NIVEL 2

Es una *buena práctica* documentar las emisiones estimadas o calculadas, todos los datos de la actividad con sus correspondientes contenidos de carbono, así como cualquier hipótesis o dato que justifique los valores alternativos. Debe darse una explicación clara sobre la vinculación con el Volumen 2, Energía, con el fin de demostrar que no se ha incurrido en cálculos dobles ni en omisiones.

MÉTODO DE NIVEL 3

Es una *buena práctica* documentar las emisiones calculadas y la fuente de todos los datos, tomando en cuenta la necesidad de proteger la confidencialidad de los datos para instalaciones específicas, si los datos son comercialmente sensibles o de una naturaleza relacionada con la propiedad industrial. Además, para todos los niveles, los compiladores del inventario deben documentar toda la información necesaria para reproducir las estimaciones, así como los procedimientos de GC/CC.

4.7 PRODUCCIÓN DE CINC

4.7.1 Introducción

PROCESOS PRIMARIOS DE PRODUCCIÓN

Existen tres tipos de producción primaria de cinc. El primer método es un proceso metalúrgico llamado destilación electro-térmica. Se lo emplea para combinar el concentrado tostado y los productos secundarios de cinc en un sinterizado de alimentación que se quema para eliminar cinc, haluros, cadmio y otras impurezas. El sinterizado resultante, rico en óxido de cinc, se combina con el coque metalúrgico en un horno eléctrico de retorta que reduce los óxidos de cinc y produce cinc vaporizado que se captura en un condensador al vacío. La reacción de reducción produce la liberación de emisiones no energéticas de dióxido de carbono (CO₂). El proceso de destilación electro-térmica se emplea en los Estados Unidos y en el Japón. (Sjardin, 2003; European IPPC Bureau, 2001). El segundo método de producción de cinc es el proceso pirometalúrgico que implica el uso de un horno *Imperial Smelting Furnace*, el cual permite el tratamiento simultáneo del cinc y de los concentrados de cinc. El proceso resulta en la producción simultánea de plomo y de cinc y en la liberación de emisiones no energéticas de CO₂. El agente reductor de coque metalúrgico y/o carbón utilizado en este proceso debe ser atribuido al cinc y a la producción de cinc, de manera que no se incurra en cálculos dobles al efectuar los cálculos de las emisiones. Una atribución basada en la masa resulta en un factor de 0,74 toneladas de coque/tonelada de cinc. (Sjardin, 2003; European IPPC Bureau, 2001)

El tercer método de producción de cinc es el proceso electrolítico, que corresponde a una técnica hidrometalúrgica. En este proceso se calcina sulfuro de cinc, lo que produce óxido de cinc. El óxido de cinc se filtra luego en ácido sulfúrico y se purifica para eliminar las impurezas de hierro, cobre y cadmio. Seguidamente, se extrae el cinc de la solución mediante electrólisis. El proceso electrolítico no produce emisiones no energéticas de CO₂. (Sjardin, 2003; European IPPC Bureau, 2001)

PROCESOS SECUNDARIOS DE PRODUCCIÓN

Existen más de 40 tecnologías hidrometalúrgicas y pirometalúrgicas que pueden emplearse para recuperar el metal de cinc a partir de varios materiales. El método preferido para una situación dada depende de la fuente de cinc (nivel de contaminación y concentración del cinc) y del uso final deseado para el cinc recuperado. A menudo, el proceso consiste en la concentración del cinc (a través de una separación física y/o química), la sinterización, la fundición y el refinado. En algunos casos, el cinc de alta ley se retira del proceso luego de la concentración física y se consume en otras industrias, incluidas la fabricación de hierro y acero, la fabricación de latón y el moldeo del cinc por inyección a presión, sin pasar por el resto de las etapas del proceso. (Sjardin, 2003).

Las etapas de sinterizado, fundición y refinado son idénticas a las etapas utilizadas en los procesos de producción primaria de cinc, de modo que ciertos procesos de fundición son considerados como emisores desde el punto de vista de las emisiones no energéticas de CO₂, mientras que las etapas de sinterización y de refinación son consideradas como no emisoras. Cuando la etapa de concentración implica el uso de agentes reductores que contienen carbono y el uso de altas temperaturas para volatilizar o humear el cinc desde los materiales de fuente, el proceso puede liberar emisiones no energéticas de CO₂. El proceso de Waelz Kiln y el proceso de reducción de escorias o de humeado son dos de los métodos de concentración. El proceso de Waelz Kiln, que se emplea para concentrar cinc a partir de los polvos de los humos de salida, de lodos, de escorias y de otros materiales que contienen zinc, implica el uso del coque metalúrgico como agente reductor. Sin embargo, el cinc reducido se re-oxida durante el proceso y el coque metalúrgico sirve también como fuente de calor durante el proceso. El proceso de reducción de escorias o de humeado, que se usa estrictamente para concentrar el cinc de las escorias fundidas provenientes de la fundición de cobre y de cinc, implica el uso de carbón o de otra fuente de carbono como agente reductor. (Sjardin, 2003; European IPPC Bureau, 2001)

4.7.2 Cuestiones metodológicas

4.7.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

En las *Directrices del IPCC* se bosquejan varios métodos para calcular las emisiones de CO₂ generadas por la producción del cinc. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión de la Figura 4.16. El método de Nivel 3 puede utilizarse si se dispone de datos sobre mediciones de emisiones específicas de la instalación. El método de Nivel 2 utiliza factores de emisión específicos del país, tanto para el proceso de producción primaria como para el de producción

secundaria. El método de Nivel 1 es muy simple y puede conducir a errores debido a que depende de hipótesis en vez de apoyarse en datos reales. El método de Nivel 1 emplea factores de emisión generales que se aplican a la producción total de cinc del país al calcular las emisiones y es el método menos riguroso. Este método sólo debe emplearse cuando la producción de cinc no es una *categoría principal*.

MÉTODO DE NIVEL 1

El método más simple consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por el tipo de producto de cinc (Ecuación 4.33). Cuando los únicos datos disponibles sean las estadísticas sobre la producción nacional de cinc, es una *buena práctica* utilizar los factores de emisión por defecto. Si no se dispone de datos específicos de los materiales para calcular las emisiones mediante la metodología de Nivel 2, pero se conoce el tipo de proceso, los compiladores del inventario pueden calcular las emisiones mediante la Ecuación 4.34.

ECUACIÓN 4.33
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE CINCO (NIVEL 1)

$$E_{CO_2} = Zn \cdot EF_{por\ defecto}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ originadas por la producción de cinc, toneladas

Zn= cantidad de cinc producido, toneladas

$EF_{por\ defecto}$ = factor de emisión por defecto, toneladas de CO₂/tonelada de *cinc* producido

ECUACIÓN 4.34
EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE CINCO (NIVEL 1)

$$E_{CO_2} = ET \cdot EF_{ET} + PM \cdot EF_{PM} + WK \cdot EF_{WK}$$

Donde:

E_{CO_2} = emisiones de CO₂ originadas por la producción de cinc, toneladas

ET = cantidad de cinc producido por destilación electro-térmica, toneladas

EF_{ET} = factor de emisión para la destilación electro-térmica, toneladas de CO₂/tonelada de cinc producido

PM = cantidad de cinc producido por el proceso pirometalúrgico (proceso *Imperial Smelting Furnace*), toneladas

EF_{PM} = factor de emisión para el proceso pirometalúrgico, toneladas de CO₂/tonelada de cinc producido

WK = cantidad de cinc producido por el proceso Waelz Kiln, toneladas

EF_{WK} = factor de emisión para el proceso Waelz Kiln, toneladas de CO₂/tonelada de cinc producido

MÉTODO DE NIVEL 2

Es posible calcular las emisiones empleando un factor de emisión específico del país basado en estadísticas de planta agregadas sobre el uso de agentes reductores, tipos de hornos y otros materiales de proceso de interés y que se desarrolla basándose en factores de emisión por defecto aplicables a esos materiales. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de cinc individuales. El Nivel 2 es más exacto que el Nivel 1 porque toma en cuenta los materiales y la variedad de tipos de horno utilizados en el sector del cinc que contribuyen a las emisiones de CO₂ en un país en particular, en vez de suponer prácticas industriales generalizadas.

MÉTODO DE NIVEL 3

Si se dispone de datos reales sobre emisiones de CO₂ medidas de las instalaciones productoras de cinc, pueden agregarse y emplearse directamente para dar cuenta de las emisiones nacionales mediante el método de Nivel 3.

4.7.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

MÉTODO DE NIVEL 1

El factor de emisión para el proceso pirometalúrgico (*Imperial Smelting Furnace*) es un factor de emisión agregado y ponderado que abarca tanto la producción primaria de cinc como la producción secundaria en Europa (Sjardin, 2003). No había datos para determinar un factor de emisión para el proceso electro-térmico. Se ha desarrollado un factor de emisión basado en la cantidad de coque consumido por tonelada de polvo de EAF consumido en un horno Waelz Kiln, basándose en el balance de materiales proporcionado por Viklund-White (2000), en el cual Viklund-White observa que por cada tonelada métrica de polvo de EAF consumido, se consumen 400 kg. de coque.

CUADRO 4.24 FACTORES DE EMISIÓN DE CO ₂ DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE CINCO		
Proceso	Factor de emisión	Fuente
Waelz Kiln (toneladas de CO ₂ / tonelada de cinc)	3,66	Derivado de Viklund-White C. (2000) <i>The Use of LCA for the Environmental Evaluation of the Recycling of Galvanized Steel</i> . ISIJ International. Volumen 40 No. 3: 292-299.
Pirometalúrgico (<i>Imperial Smelting Furnace</i>) (toneladas de CO ₂ / tonelada de cinc)	0,43	Sjardin 2003. <i>CO₂ Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, Ferroalloys and Inorganics Industry</i> . Copernicus Institute, Utrecht, Países Bajos. Junio de 2003.
Electro-térmico	Desconocido	
Factor por defecto (toneladas de CO ₂ / tonelada de cinc)	1,72	el factor por defecto se basa en una ponderación de factores de emisión conocidos (60% Imperial Smelting, 40% Waelz Kiln)

MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 requiere el cálculo de un factor de emisión específico del país, basado en la cantidad total de agentes reductores y de otros materiales de proceso que contienen carbono empleados para la producción de cinc en el país. Estos factores de emisión específicos del país deben basarse en estadísticas agregadas de las plantas respecto del uso de agentes reductores, en los tipos de hornos y en otros materiales de proceso de interés. Se ha desarrollado un factor de emisión basado en la cantidad de coque metalúrgico consumido por tonelada de polvo de EAF consumido: 0,4 toneladas de coque/tonelada de polvo EAF consumido (Viklund-White, 2000). Si se dispone de datos de la actividad, para calcular las emisiones se puede utilizar un factor de emisión de 1,23 toneladas de polvo EAF por tonelada de cinc. Cuando se produce cinc a partir de polvos de EAF en un horno Waelz Kiln, las complejidades del proceso sugieren que los factores de emisión son más exactos si están basados en la cantidad de polvo de EAF consumido, en vez del total de cinc producido. Esto se debe a que la cantidad de materiales de reducción (coque metalúrgico) consumidos depende directamente de la cantidad y del contenido de cinc en el polvo de EAF consumido. En el proceso de Waelz Kiln se utiliza un equipo de pesaje para controlar la cantidad de coque metalúrgico que entra en el horno de alta temperatura (Sjardin 2003; European IPPC Bureau 2001).

4.7.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

MÉTODO DE NIVEL 1

Para el método de Nivel 1 se requiere solamente la cantidad de cinc producido en el país y, si la información está disponible, el tipo de proceso. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación, de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías del cinc individuales. Estos tonelajes pueden multiplicarse entonces por los factores de emisión por defecto para estimar las emisiones de CO₂.

MÉTODO DE NIVEL 2

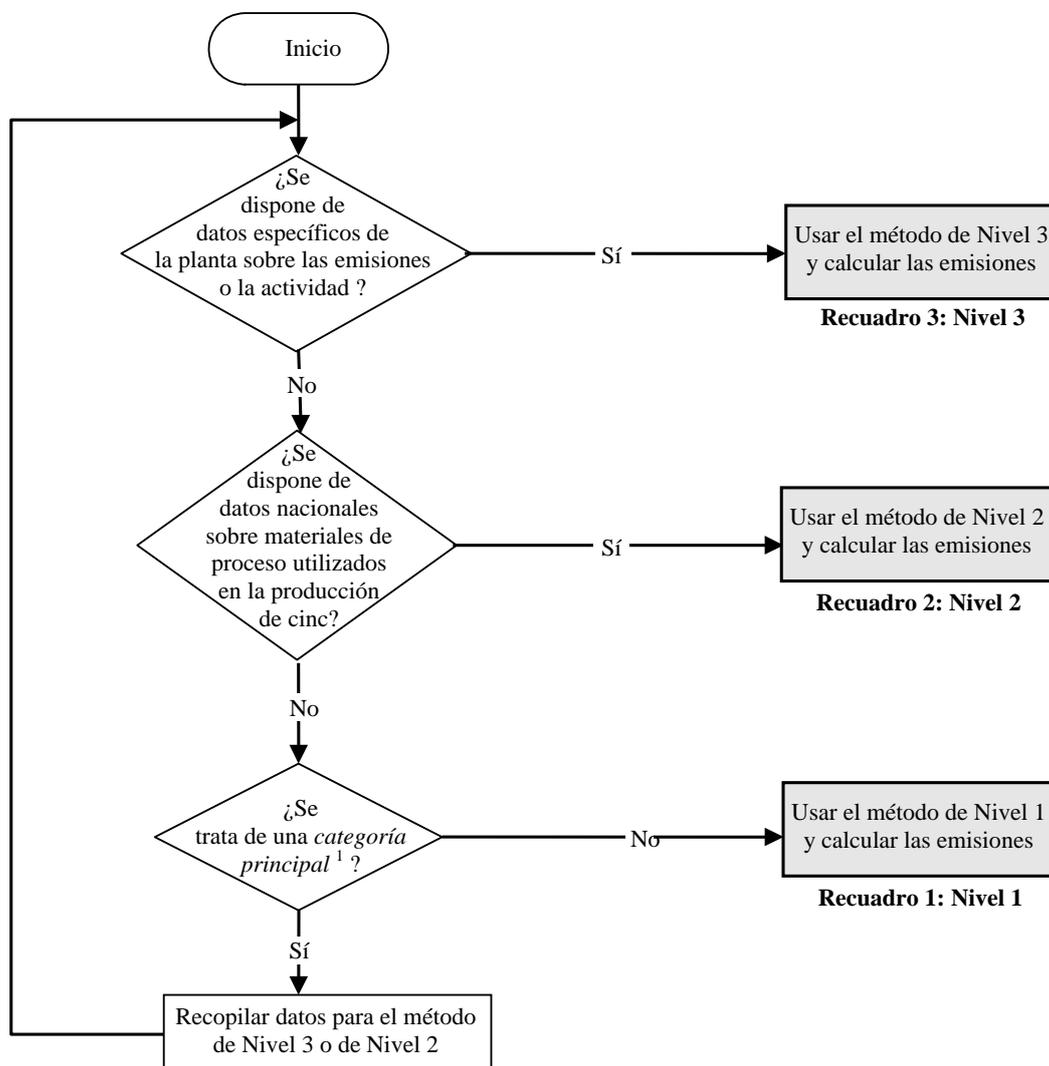
El método de Nivel 2 requiere el cálculo de un factor de emisión específico del país, basado en la cantidad total de agentes reductores y de otros materiales de proceso que contienen carbono empleados para la producción de

cinc en el país. Estos datos pueden obtenerse de los organismos gubernamentales responsables de las estadísticas sobre fabricación o energía de las asociaciones comerciales e industriales o de las compañías de cinc individuales. Estos factores de emisión específicos del país pueden multiplicarse entonces por la cantidad de producción para determinar el total de emisiones de CO₂ del sector. Si ésta no constituye una *categoría principal* y si no se dispone de datos sobre el total de agentes reductores y de materiales de proceso para todas las industrias, las emisiones pueden estimarse mediante el método de Nivel 1.

MÉTODO DE NIVEL 3

Para el método de Nivel 3 se requiere recolectar, compilar y agregar datos sobre las mediciones de las emisiones específicas de las instalaciones, si hubiere. Sin embargo, los datos de la actividad recolectados al nivel de las plantas pueden usarse también, con factores de emisión aparte para cada planta multiplicados por la producción específica de la planta. Si no constituye una *categoría principal* y si no se dispone de datos sobre el total de agentes reductores y de materiales de proceso para todas las industrias, las emisiones pueden estimarse mediante el método de Nivel 1.

Figura 4.16 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de cinc**



Nota :

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

4.7.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Al estimar las emisiones provenientes de esta categoría de fuente, existe el riesgo de cómputo doble o de omisión tanto en el Sector Procesos industriales como en el Sector Energía. Es importante notar que el factor de emisión de Nivel 1 supone que las emisiones de CO₂ generadas por la combustión de los diferentes combustibles empleados para la producción de calor en los procesos de calcinación, sinterización, filtraje, fundición de purificación y refinado son capturadas dentro del CO₂ de las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles. Al emplear las metodologías de Nivel 2 ó 3, se pueden evitar los cálculos dobles. La fuente más importante de eventuales cálculos dobles son las emisiones de la producción de coque, que se calculan en la Sección 4.2 y se declaran dentro del Sector Energía.

4.7.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones originadas por la producción de cinc deben calcularse utilizando el mismo método para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método de Nivel 3 para todos los años de la serie temporal, deben recalcularse los vacíos según la orientación del Volumen 1, Orientación general y generación de informes.

4.7.3 Evaluación de incertidumbre

Las estimaciones de incertidumbre en la producción del cinc resultan esencialmente de las incertidumbres asociadas con los datos de la actividad y de la incertidumbre relacionada con el factor de emisión. En el Cuadro 4.25 se presenta un panorama general de las incertidumbres asociadas a los factores de emisión y a los datos de la actividad.

4.7.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Los factores de emisión por defecto empleados en el Nivel 1 pueden tener una incertidumbre del ± 50 por ciento. Se estima que los factores de emisión específicos del país para el Nivel 2 poseen una incertidumbre de 15 por ciento. Cuando se dispone de datos sobre el contenido de carbono específico de la planta, se espera que el error en los factores de emisión específicos de la unidad de Nivel 3 sea de un 5 por ciento.

4.7.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Las estadísticas sobre la producción nacional deben estar disponibles y tener una incertidumbre probable de ± 10 por ciento. Para el Nivel 2, la cantidad total de agentes reductores y de materiales de proceso utilizados en la producción del plomo deberían tener un error probable de 10 por ciento. Se espera que los datos sobre emisiones reales para el Nivel 3 tengan una incertidumbre de ± 5 por ciento.

CUADRO 4.25 INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE		
Método	Fuente de los datos	Intervalo de incertidumbre
Nivel 1	Datos nacionales de producción	$\pm 10\%$
	Factores de emisión por defecto	$\pm 50\%$
	Factores de emisión específicos de los procesos	$\pm 20\%$
Nivel 2	Datos nacionales sobre Agentes reductores y Materiales de proceso	$\pm 10\%$
	Factores de emisión específicos del país	$\pm 15\%$
Nivel 3	Derivado en la instalación = datos sobre materiales de proceso	$\pm 5\%$
	Datos sobre las mediciones de CO ₂ específicos de la instalación	$\pm 5\%$
	Factores de emisión específicos de las instalaciones	$\pm 5\%$

4.7.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

4.7.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. Además de la orientación del Volumen 1, se presentan a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Revisión de los factores de emisión

Los compiladores del inventario deben comparar los factores de emisión agregados nacionalmente con los factores por defecto del IPPC con el fin de determinar si el factor nacional es razonable en relación con el factor por defecto del IPPC. Las diferencias significativas existentes entre los factores nacionales y el factor por defecto deben explicarse y documentarse, en particular si son representativas de circunstancias diferentes.

Verificación de los datos de la actividad específicos de la instalación

Para los datos específicos de la instalación, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias existentes entre instalaciones, para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Para la producción de cinc, los compiladores deben comparar los datos de la planta con los de otras plantas.

Los compiladores deben garantizar que los factores de emisión y los datos de la actividad se determinen de acuerdo con los métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces la utilización de estas emisiones o datos de la actividad debe evaluarse cuidadosamente, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones. Es también posible que en los sitios donde están en vigor parámetros altos de mediciones y de GC/CC, la incertidumbre en la estimación de emisiones sea revisada a la baja.

Revisión de expertos

Los compiladores del inventario deben incluir en el proceso de revisión las principales organizaciones industriales y comerciales relacionadas con la producción del cinc. Este proceso debe comenzar al inicio del desarrollo del inventario, de modo que contribuya al desarrollo y a la revisión de los métodos y a la adquisición de los datos.

Para esta categoría de fuente puede ser útil recurrir también a revisores independientes, particularmente en relación con la recolección inicial de datos, el trabajo de medición, la transcripción, los cálculos y la documentación.

Verificación de los datos de la actividad

Para todos los Niveles, los compiladores del inventario deben garantizar que las emisiones generadas por los agentes reductores y los materiales de proceso (carbón, coque, gas natural, etc.) no sean contabilizadas por partida doble ni omitidas.

Los compiladores deben examinar toda incoherencia existente entre los datos de diferentes plantas para establecer si reflejan la presencia de errores, de técnicas de medición diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de funcionamiento o en las tecnologías. Esto es particularmente pertinente para las estimaciones específicas de plantas sobre las cantidades de agentes reductores o sobre los contenidos de carbono declarados para los materiales de proceso.

Allí donde se disponga de datos comerciales sobre el consumo de materiales de proceso, los compiladores deben comparar la agregación de las estimaciones al nivel de plantas con los totales de la industria.

4.7.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir

resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

MÉTODO DE NIVEL 1

Además de declarar las estimaciones de emisiones, es una *buena práctica* declarar la producción total de cinco por proceso y los correspondientes factores de emisión utilizados.

MÉTODO DE NIVEL 2

Es una *buena práctica* documentar las emisiones estimadas o calculadas, todos los datos de la actividad con sus correspondientes factores de emisión, así como cualquier hipótesis o dato que justifique el uso de factores de emisión alternativos.

MÉTODO DE NIVEL 3

Es una *buena práctica* documentar las emisiones calculadas y la fuente de todos los datos, tomando en cuenta la necesidad de proteger la confidencialidad de los datos para instalaciones específicas, si los datos son comercialmente sensibles o de una naturaleza relacionada con la propiedad industrial. Además, para todos los niveles, los compiladores del inventario deben documentar toda la información necesaria para reproducir las estimaciones, así como los procedimientos de GC/CC.

Referencias

SECCIÓN 4.2

- EEA (2005). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook – 2005, European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site see: <http://reports.eea.eu.int/EMEP/CORINAIR4/en>
- European IPPC Bureau (2001). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, December 2001. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
- International Iron and Steel Institute (2004). Steel Statistical Yearbook 2004: International Iron and Steel Institute, COMMITTEE ON ECONOMIC STUDIES, Brussels.
- Pipatti, R. (2001). Greenhouse Gas Emissions and Removals in Finland, Report No. 2094, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, 2001. <http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2094.pdf>
- Schoenberger, H. (2000). European Conference on “The Sevilla Process: A Driver for Environmental Performance in Industry” Stuttgart, 6 and 7 April 2000, BREF on the Production of Iron and Steel - conclusion on BAT, Dr. Harald Schoenberger, Regional State Governmental Office Freiburg, April 2000.

SECCIÓN 4.3

- FFF (2000). The Norwegian Ferroalloy Producers Research Association, “Emission factors standardized at meeting”, Oslo 2000.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- Lindstad, T. (2004). ‘CO₂ Emissions from the Production of Silicon Alloys’, STF80A04019, SINTEF, Trondheim 2004.
- Olsen, S.E., Monsen, B.E. and Lindstad, T. (1998). ‘CO₂ Emissions from the Production of Manganese and Chrome Alloys in Norway’, Electric Furnace Conference Proceedings Vol. 56, Iron & Steel Society, Warrendale PA 1998, pp 363-369.
- Olsen, S.E. (2004). ‘CO₂ Emissions from the Production of Manganese Alloys in Norway’, STF80A04010, SINTEF, Trondheim 2004.

SECCIÓN 4.4

- IAI (2000). International Aluminium Institute, International Aluminium Institute (2000) ‘Life Cycle Assessment of Aluminium’
- IAI (2001). International Aluminium Institute, Perfluorocarbon Emissions Reduction Programme 1990 - 2000, 2001, available at <http://www.world-aluminium.org/iai/publications/documents/pfc2000.pdf>.
- IAI (2005a). International Aluminium Institute, The Aluminium Sector Greenhouse Gas Protocol, http://www.world-aluminium.org/environment/climate/ghg_protocol.pdf, 2005.
- IAI (2005b). International Aluminium Institute, survey on composition of production materials, 2005 (unpublished)
- IAI (2005c). International Aluminium Institute, Annual Anode Effect Survey 2003, www.world-aluminium.org, 2005.
- U.S. EPA and IAI (2003), U.S. Environmental Protection Agency and International Aluminium Institute, USEPA/IAI Protocol for Measurement of PFCs from Primary Aluminium Production, EPA 43-R-03-006, May 2003.

SECCIÓN 4.5

- Bartos, S., Kantamaneni, R., Marks, J. and Laush, C. (2003). "Measured SF₆ Emissions from Magnesium Die Casting Operations," Magnesium Technology 2003, Proceedings of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS) Conference, March 2003.
- Gjestland, H. and Magers, D. (1996). "Practical usage of sulphur hexafluoride for melt protection in the magnesium die casting industry" Proceedings of the 53rd International Magnesium Conference, 1996, Ube City, Japan
- IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- Milbrath, D. (2002). "Development of 3M™ Novec™ 612 Magnesium Protection Fluid as a Substitute for SF₆ Over Molten Magnesium," International Conference on SF₆ and the Environment: Emission Reduction Technologies, November 21-22, 2002, San Diego, CA.
- Tranell, G and Engh, T.A. (2004). "Alternatives to SF₆ for the Magnesium Processor – A Technical, Environmental and Economic Assessment", Proceedings of the 61st Annual International Magnesium Association Conference, May 2004, New Orleans, LA, USA.

SECCIÓN 4.6

- DOE (2002). Mining Industry of the Future: Energy and Environmental Profile of the U.S. Mining Industry. Prepared by BCS, Inc for the U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, December 2002.
- LDA (2002). Technical Notes: Primary Extraction of Lead., Lead Development Association International. Internet: <http://www.ldaint.org/technotes1.htm>
- Metallurgical Industry (1995). AP 42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 12, <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/index.html>
- Sjardin, M. (2003). CO₂ Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, Ferroalloys and Inorganics Industry. Copernicus Institute, Utrecht, The Netherlands, June 2003.

SECCIÓN 4.7

- European IPPC Bureau (2001). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Non Ferrous Metals Industries, December 2001. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
- Sjardin, M. (2003). CO₂ Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, Ferroalloys and Inorganics Industry. Copernicus Institute, Utrecht, The Netherlands, June 2003.
- Viklund-White C. (2000). The Use of LCA for the Environmental Evaluation of the Recycling of Galvanized Steel. *ISIJ International*. Volume 40 No. 3: 292-299.

CAPÍTULO 5

USO DE PRODUCTOS NO ENERGÉTICOS DE COMBUSTIBLES Y DE SOLVENTES

Autores

Jos G. J. Olivier (Países Bajos)

Domenico Gaudioso (Italia), Michael Gillenwater (Estados Unidos), Chia Ha (Canadá), Leif Hockstad (Estados Unidos), Thomas Martinsen (Noruega), Maarten Neelis (Países Bajos), Hi-chun Park (República de Corea) y Timothy Simmons (Reino Unido)

Autor colaborador

Martin Patel (Países Bajos)

Índice

5	Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes.....	5.5
5.1	Introducción.....	5.5
5.2	Uso de lubricantes.....	5.6
5.2.1	Introducción.....	5.6
5.2.2	Cuestiones metodológicas.....	5.6
5.2.2.1	Elección del método.....	5.7
5.2.2.2	Elección de los factores de emisión.....	5.9
5.2.2.3	Elección de los datos de la actividad.....	5.10
5.2.2.4	Exhaustividad.....	5.10
5.2.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	5.10
5.2.3	Evaluación de incertidumbre.....	5.11
5.2.3.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	5.11
5.2.3.2	Incertidumbres en los datos de la actividad.....	5.11
5.2.4	Garantía de calidad y Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	5.11
5.2.4.1	Garantía de calidad (GC) y Control de calidad (CC):.....	5.11
5.2.4.2	Generación de informes y documentación.....	5.11
5.3	Uso de la cera de parafina.....	5.11
5.3.1	Introducción.....	5.12
5.3.2	Cuestiones metodológicas.....	5.12
5.3.2.1	Elección del método.....	5.12
5.3.2.2	Elección de los factores de emisión.....	5.13
5.3.2.3	Elección de los datos de la actividad.....	5.13
5.3.2.4	Exhaustividad.....	5.14
5.3.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	5.14
5.3.3	Evaluación de incertidumbre.....	5.14
5.3.3.1	Incertidumbres del factor de emisión.....	5.14
5.3.3.2	Incertidumbres en los datos de la actividad.....	5.14
5.3.4	Garantía de calidad y Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	5.14
5.3.4.1	Garantía de calidad y Control de calidad.....	5.14
5.3.4.2	Generación de informes y documentación.....	5.14
5.4	Producción y uso del asfalto.....	5.15
5.4.1	Introducción.....	5.15
5.4.2	Cuestiones metodológicas.....	5.16
5.4.3	Exhaustividad.....	5.18
5.4.4	Evaluación de incertidumbre.....	5.18
5.4.5	Generación de informes y documentación.....	5.18
5.5	Uso de solventes.....	5.19

5.5.1	Introducción	5.19
5.5.2	Exhaustividad.....	5.19
5.5.3	Desarrollo de una serie temporal coherente	5.19
5.5.4	Evaluación de la incertidumbre	5.19
Referencias	.....	5.21

Ecuaciones

Ecuación 5.1	Fórmula básica para calcular las emisiones de CO ₂ de los usos no energéticos de los productos.....	5.5
Ecuación 5.2	Lubricantes – método de Nivel 1	5.8
Ecuación 5.3	Lubricantes – método de Nivel 2	5.8
Ecuación 5.4	Ceras – método de Nivel 1	5.12
Ecuación 5.5	Ceras – método de Nivel 2.....	5.12

Figuras

Figura 5.1	Atribución sectorial de las emisiones provenientes de los lubricantes y las ceras	5.7
Figura 5.2	Árbol de decisión para el CO ₂ proveniente del uso no energético de los lubricantes.....	5.9
Figura 5.3	Árbol de decisión para CO ₂ el proveniente del uso no energético de las ceras de parafina	5.13

Cuadros

Cuadro 5.1	Usos no energéticos de los combustibles fósiles y de otros productos químicos.....	5.6
Cuadro 5.2	Fracciones de oxidación por defecto para aceites lubricantes, grasas y lubricantes en general	5.10

Recuadro

Recuadro 5.1	5.16
--------------	-------	------

5 USO DE PRODUCTOS NO ENERGÉTICOS DE COMBUSTIBLES Y DE SOLVENTES

5.1 INTRODUCCIÓN

Esta sección proporciona métodos para estimar las emisiones generadas por los primeros usos de los combustibles fósiles como productos con fines primarios, excepto: i) la combustión con fines energéticos y ii) el uso como sustancia de alimentación a procesos o como agente reductor. Las emisiones de estos dos últimos usos justifican por los métodos descritos en la industria química (Capítulo 3) y en la industria de los metales (Capítulo 4).

Los productos considerados aquí incluyen los lubricantes, las ceras de parafina, el alquitrán y/o el asfalto y los solventes. Las emisiones provenientes de usos posteriores o de la eliminación de los productos después del primer uso (es decir, la combustión de óleos de desecho tales como los lubricantes usados) deben estimarse y declararse en el Sector Desechos, cuando son incinerados, o en el Sector Energía, cuando hay recuperación de energía.

Generalmente, los métodos para calcular las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por los usos no energéticos de los productos obedecen a una fórmula simple, en la cual el factor de emisión está compuesto por el factor de contenido de carbono y un factor que representa la fracción de carbono del combustible fósil que se oxida durante el uso (ODU, del inglés, *Oxidised During Use*), p. ej., la co-combustión real de la fracción de lubricante que se infiltra en la cámara de combustión de un motor). Este concepto se aplica a la oxidación únicamente durante el primer uso de los lubricantes y de las ceras de parafina, pero no a los usos posteriores (p. ej., recuperación de energía):

ECUACIÓN 5.1
FÓRMULA BÁSICA PARA CALCULAR LAS EMISIONES DE CO₂
DE LOS USOS NO ENERGÉTICOS DE LOS PRODUCTOS

$$CO_2 \text{ Emisiones} = \sum_i (NEU_i \cdot CC_i \cdot ODU_i) \cdot 44/12$$

Donde:

CO₂ Emisiones = emisiones de CO₂ de los usos no energéticos de los productos, toneladas de CO₂

NEU_i = uso no energético del combustible *i*, TJ

CC_i = contenido específico de carbono del combustible *i*, tonelada de C/TJ (=kg. de C/GJ)

ODU_i = factor ODU del combustible *i*, fracción

44/12 = cociente de masa del CO₂/C

La producción y el uso del asfalto en la pavimentación de rutas y en la impermeabilización de techos, así como el uso de solventes derivados del petróleo y del carbón no constituyen fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero, o son, a lo sumo, insignificantes. Sin embargo, se incluyen en este capítulo pues a veces constituyen fuentes sustanciales de emisiones de compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM) y de monóxido de carbono (CO) que llegan a oxidarse en la atmósfera, y producen CO₂. La entrada de CO₂ resultante puede estimarse a partir de las emisiones de los gases no CO₂ (véase la Sección 7.2.1.5 del Volumen 1). Aunque es casi insignificante para el asfalto, no lo es tanto para los usos de solventes. Las emisiones de cualquier otro producto no energético de los combustibles fósiles que no se describan aquí deben declararse bajo la subcategoría 2D4 «Otros».

Puede haber un riesgo de que algunas de las emisiones de CO₂ calculadas para esta categoría de fuente se contabilicen parcialmente en otros lugares. Los casos en que esta situación puede presentarse están claramente indicados en las secciones siguientes y deben hacerse verificaciones cruzadas para evitar el cómputo doble.

Se espera que las emisiones de metano (CH₄) generadas por las actividades cubiertas en este capítulo sean menores o que simplemente no existan. Aunque algunas emisiones de CH₄ ocurren en la producción del asfalto y en su uso para pavimentar rutas, no se proporciona un método para estimar las emisiones de CH₄, pues se espera que estas emisiones sean insignificantes.

La Sección 1.4 del Capítulo 1 de este volumen proporciona una orientación para evaluar la coherencia y la exhaustividad de las emisiones de carbono provenientes del uso de los combustibles como alimentación a

procesos y del uso no energético. Estas orientaciones contemplan las acciones siguientes: (a) verificar que las necesidades de alimentación a procesos y/o uso no energético para los procesos incluidos en el inventario sean proporcionales a los suministros para la alimentación a procesos tal como esté registrado en las estadísticas nacionales sobre energía; (b) verificar que los totales declarados para las emisiones de CO₂ provenientes del uso no energético y/o las fuentes de la alimentación a procesos y calculados «de abajo hacia arriba» en los diferentes niveles de subcategorías sean exhaustivos y coherentes; (c) documentar e informar cómo estas emisiones son atribuidas en el inventario. Las fuentes descritas en este capítulo forman parte de las verificaciones de exhaustividad para el CO₂ fósil proveniente de fuentes no energéticas y de las declaraciones sobre su asignación.

CUADRO 5.1			
USOS NO ENERGÉTICOS DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES Y DE OTROS PRODUCTOS QUÍMICOS			
Tipos de combustibles utilizados	Ejemplos de usos no energéticos	Gases cubiertos en este capítulo	
		CO ₂	COVDM, CO
Lubricantes	Lubricantes utilizados en el transporte y en la industria; Sección 5.2	X	
Ceras de parafina	Velas, cajas corrugadas, recubrimientos de papel, encolados de placas, adhesivos, producción de alimentos, embalajes; Sección 5.3	X	
Alquitrán; <i>road oil</i> y otros diluyentes de petróleo	Utilizado en la producción de asfalto para la pavimentación de rutas y p. ej. para impermeabilizar techos; Sección 5.4		X
Espíritu blanco ¹ , queroseno ² , algunos aromáticos	Como solvente, p. ej. para recubrimientos de superficies (pinturas), lavado en seco; Sección 5.5		X

5.2 USO DE LUBRICANTES

5.2.1 Introducción

El principal uso de los lubricantes es en las aplicaciones industriales y en el transporte. Los lubricantes se producen en las refinerías, por separación del petróleo crudo, o en las plantas petroquímicas. Se pueden subdividir en: (a) aceites para motores y aceites industriales y (b) grasas. Estos difieren según sus características físicas (p. ej., la viscosidad), de sus aplicaciones comerciales y de su destino ambiental.

5.2.2 Cuestiones metodológicas

El uso de los lubricantes en los motores obedece principalmente a sus propiedades lubricantes y las emisiones asociadas se consideran, por lo tanto, emisiones sin combustión que deben declararse en el Sector IPPU. Sin embargo, en el caso de los motores de 2 tiempos, en los cuales el lubricante se mezcla con otro combustible y, por ende, se quema a propósito en el motor, deben estimarse las emisiones y declararse como parte de las emisiones de combustión en el Sector Energía (véase el Volumen 2).

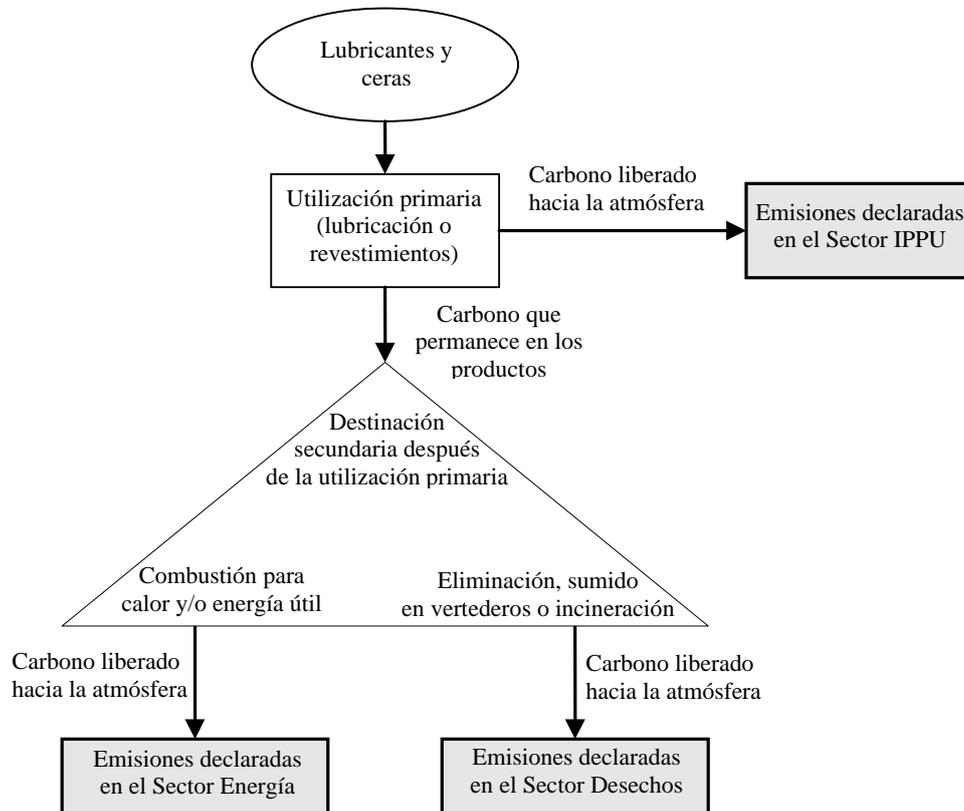
Es difícil determinar cuál es la fracción del lubricante consumido en las maquinarias y en los vehículos que entra efectivamente en la combustión y que produce de hecho emisiones de CO₂ y cuál es la fracción no totalmente oxidada que se emite primero como COVDM y CO (excepto para el caso de los motores de 2 tiempos, que se excluyen aquí). Por esta razón, los países rara vez declaran estas emisiones de COVDM y de CO en los inventarios de emisiones. Por lo tanto, para calcular las emisiones de CO₂ a partir de la cantidad total de lubricantes que se pierde durante el uso, se supone que éstos se queman por completo y las emisiones se declaran directamente como emisiones de CO₂.

¹ Conocido también como trementina mineral, espíritu de petróleo o esencia de petróleo (SBP).

² Conocido también como parafina o aceites de parafina (*paraffin* o *paraffin oils*, en el Reino Unido y en Sudáfrica)

En la mayoría de los países de la OCDE, las reglamentaciones y las políticas de eliminación de aceites usados restringen a menudo que sean sumidos en vertederos cubiertos o abiertos y fomentan la recolección separada de estos aceites usados. Una pequeña proporción de los lubricantes se oxida durante el uso, pero la mayor contribución a las emisiones se produce cuando los lubricantes de desecho son recolectados al término de su uso, en cumplimiento de las reglamentaciones específicas de los países, y se queman ulteriormente. Sin embargo, estas emisiones provenientes de la manipulación de los aceites de desecho deben declararse en el Sector Desechos (o en el Sector Energía, si hay recuperación de energía). Esto se ilustra en la Figura 5.1.

Figura 5.1 Atribución sectorial de las emisiones provenientes de los lubricantes y las ceras



Puesto que las emisiones de CH₄ y N₂O son muy pequeñas en comparación con las de CO₂, éstas pueden ignorarse en los cálculos de gases de efecto invernadero.

5.2.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Existen dos niveles metodológicos para determinar las emisiones generadas por el uso de lubricantes. Tanto el Nivel 1 como el de Nivel 2 se apoyan esencialmente en el mismo enfoque analítico, que consiste en aplicar factores de emisión a los datos de la actividad sobre la cantidad de lubricantes que se consumen en un país (en unidades de energía, p. ej. TJ). En el método de Nivel 2 se requieren datos sobre las cantidades de los diferentes tipos de lubricantes, excluyendo la cantidad utilizada en los motores de 2 tiempos, en combinación con los factores ODU específicos de cada tipo para los datos de la actividad, preferentemente específicos del país, mientras que el método de Nivel 1 se apoya en un factor ODU por defecto para el total de los datos de la actividad de los lubricantes (véase el árbol de decisión de la Figura 5.2). Dado que el factor ODU por defecto es cuatro veces más pequeño para las grasas que para los aceites lubricantes, al calcular las emisiones, el uso de un método de nivel superior reflejará principalmente el impacto de la utilización de las fracciones reales de los aceites y grasas. Se considera una *buena práctica* utilizar el método de Nivel 2 cuando se trate de una *categoría principal*.

Nivel 1: Las emisiones de CO₂ se calculan mediante la Ecuación 5.2 con datos por defecto agregados para los pocos parámetros disponibles y con el factor ODU basado en la composición por defecto de los aceites y las grasas en las cifras totales sobre lubricantes (en unidades de TJ):

ECUACIÓN 5.2
LUBRICANTES – MÉTODO DE NIVEL 1

$$CO_2 \text{ Emisiones} = LC \cdot CC_{\text{Lubricante}} \cdot ODU_{\text{Lubricante}} \cdot 44/12$$

Donde:

CO_2 Emisiones = emisiones de CO_2 generadas por los lubricantes, toneladas de CO_2

LC = consumo total de lubricantes, TJ

$CC_{\text{Lubricante}}$ = contenido de carbono de los lubricantes (por defecto), tonelada de C/TJ (=kg. de C/GJ)

$ODU_{\text{Lubricante}}$ = factor ODU (basado en la composición por defecto de aceites y grasas), fracción

44/12 = cociente de masa del CO_2/C

Nivel 2: El método de Nivel 2 para los lubricantes utiliza una ecuación similar, pero deben utilizarse datos detallados sobre las cantidades consumidas por tipo de uso de lubricante (en unidades de energía, p. ej., TJ) y, de preferencia, factores de emisión específicos del país. Los factores de emisión se componen del contenido de carbono específico del tipo de combustible y del factor ODU:

ECUACIÓN 5.3
LUBRICANTES – MÉTODO DE NIVEL 2

$$CO_2 \text{ Emisiones} = \sum_i (LC_i \cdot CC_i \cdot ODU_i) \cdot 44/12$$

Donde:

CO_2 Emisiones = emisiones de CO_2 generadas por los lubricantes, toneladas de CO_2

LC_i = consumo de lubricante de tipo i , TJ

CC_i = contenido de carbono del lubricante i , tonelada de C/TJ (=kg. de C/GJ)

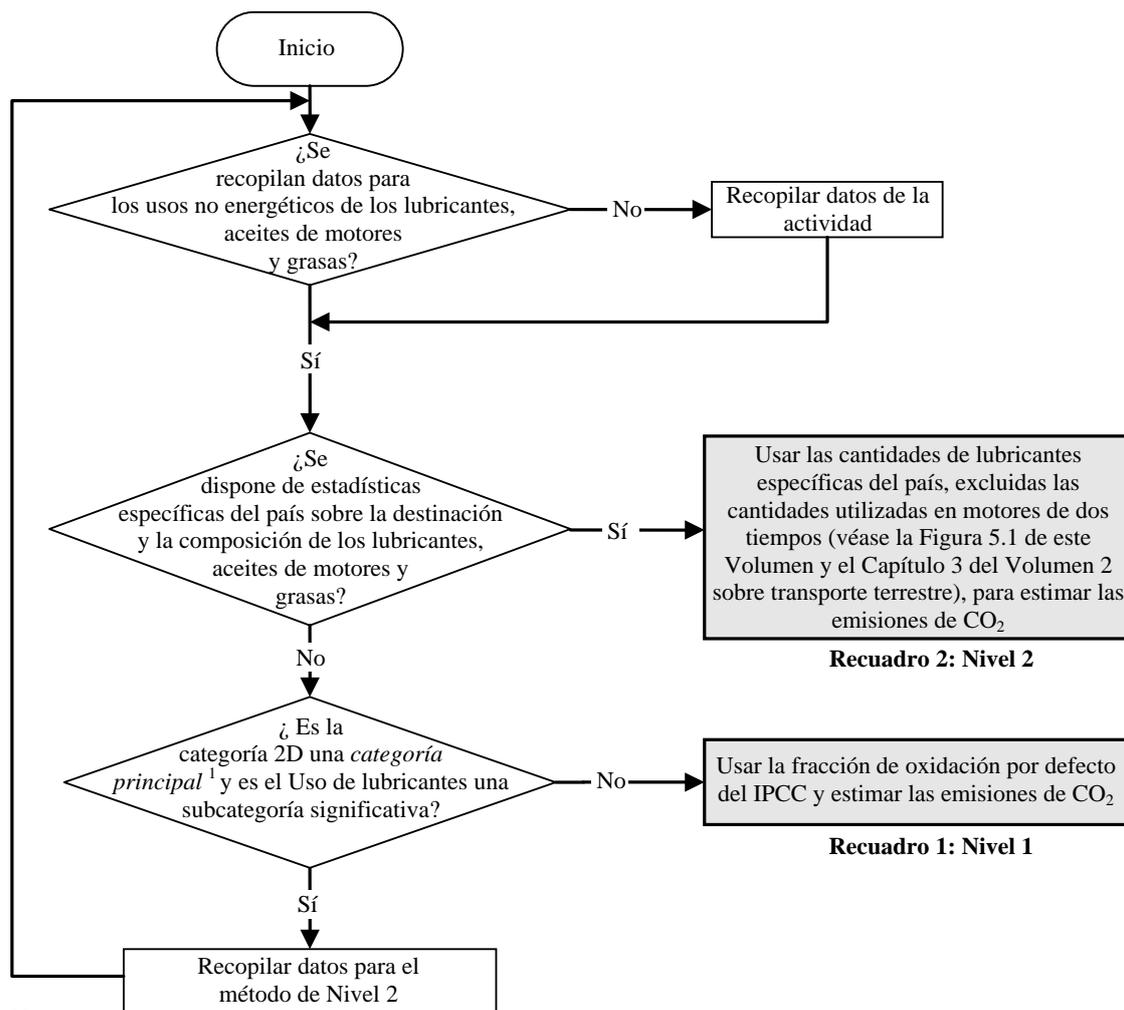
ODU_i = factor ODU del lubricante i , fracción

44/12 = cociente de masa del CO_2/C

El lubricante i se refiere a los aceites para motores y/o aceites industriales y a las grasas de manera separada, excluida la cantidad utilizada en los motores de 2 tiempos.

En ambos niveles, el contenido de carbono puede ser el valor por defecto para los lubricantes descritos en el Volumen 2 (Capítulo 1, Cuadro 1.3), o bien un valor específico del país si éste está disponible.

Figura 5.2 **Árbol de decisión para el CO₂ proveniente del uso no energético de los lubricantes**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

5.2.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

El factor de emisión se compone de un factor de contenido de carbono específico (tonelada de C/TJ) multiplicado por el factor ODU. Una multiplicación adicional por 44/12 (el cociente de masa del CO₂/C) proporciona el factor de emisión (expresado en tonelada de CO₂/TJ). Para los lubricantes, el factor de contenido de carbono por defecto es de 20,0 kg. de C/GJ, sobre la base de un valor de calentamiento menor. (Véase el Cuadro 1.3 del Capítulo 1 del Volumen 2. Nótese que la unidad kg. de C/GJ es idéntica a la tonelada de C/TJ.) Se supone que el uso corresponde a una combustión que resulta en la oxidación del 100 por ciento del CO₂, sin almacenamiento a largo plazo del carbono bajo la forma de ceniza o de residuos posteriores a la combustión. Una pequeña fracción de los aceites lubricantes se oxida durante el uso (véase el Cuadro 5.2). Una fracción aún inferior de las grasas se oxida durante el uso. Los factores ODU por defecto para los aceites (20 por ciento) y las grasas (5 por ciento) están basados en datos disponibles limitados (Cuadro 5.2).

Nivel 1: Cuando sólo se dispone de datos sobre el consumo total de lubricantes (es decir, no hay datos separados para las grasas y los aceites), en el método de Nivel 1 se emplea el promedio ponderado de los factores ODU, en su conjunto, como valor por defecto. Si se supone que el 90 por ciento de la masa de los lubricantes corresponde a los aceites y que el 10 por ciento corresponde a las grasas, al aplicar esta ponderación a los factores ODU para aceites y grasas se obtiene el factor ODU general (redondeado) de 0,2 (Cuadro 5.2). Este factor ODU puede aplicarse entonces al factor de contenido de carbono general, que puede ser específico del país o el valor por defecto para los lubricantes, para determinar los niveles de emisión nacionales desde esta fuente, cuando los datos de la actividad sobre el uso de lubricantes son conocidos (Ecuación 5.2).

Nivel 2: Aquellos países que presentan detalles específicos en relación con las cantidades específicas de lubricantes utilizados como aceites para motores y/o aceites industriales y como grasas, pueden aplicar factores ODU diferentes, ya sea los valores por defecto de 0,2 y 0,05 respectivamente, o bien, sus propios factores ODU para lubricantes y grasas, basándose en conocimientos nacionales. Para determinar los niveles de las emisiones nacionales, estos factores ODU por defecto o específicos del país pueden multiplicarse entonces por los factores de contenido de carbono específicos del país o por el único factor de contenido de carbono por defecto del IPCC para los lubricantes (Ecuación 5.3).

CUADRO 5.2		
FRACCIONES DE OXIDACIÓN POR DEFECTO PARA ACEITES LUBRICANTES, GRASAS Y LUBRICANTES EN GENERAL		
Lubricante / tipo de uso	Fracción por defecto en el total de lubricantes^a (%)	Factor ODU
Aceite lubricante (aceite para motores / aceites industriales)	90	0,2
Grasas	10	0,05
Valor por defecto del IPCC para el total de lubricantes^b		0,2

^a Excluido el uso en motores de 2 tiempos.

^b Suponiendo un consumo de aceites lubricantes del 90 por ciento y un consumo de grasas del 10 por ciento y redondeando a una cifra decimal significativa.

Fuente: Rinehart (2000).

5.2.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Para estimar las emisiones se necesitan datos sobre el uso no energético de los lubricantes, con los datos de la actividad expresados en unidades de energía (TJ). Para convertir los datos sobre consumo expresados en unidades físicas, p. ej. toneladas, en unidades comunes de energía, p. ej. TJ (sobre la base de un valor de calentamiento menor), se necesitan los valores calóricos (para obtener orientación específica, véase la Sección 1.4.1.2 del Capítulo 1 del Volumen 2 sobre Energía). Los datos básicos sobre los productos no energéticos utilizados en un país pueden obtenerse de las estadísticas nacionales sobre los datos de producción, importación y exportación y sobre la división entre usos energéticos/no energéticos. Puede ser necesario recolectar información adicional para determinar la cantidad de lubricantes que están en uso en los motores de 2 tiempos, la cual debe ser excluida de los cálculos de Nivel 2 para esta categoría de fuente. Para el método de Nivel 2, hay que conocer las cantidades individuales utilizadas como aceites para motores y/o aceites industriales y como grasas. Para obtener orientación específica respecto de la recolección de datos sobre los lubricantes utilizados en los motores de 2 tiempos, véase el Capítulo 3 sobre Transporte terrestre del Volumen 2: Energía.

5.2.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Las emisiones provenientes del uso de lubricantes en los motores de 2 tiempos deben contabilizarse en el Sector Energía. Toda emisión que se produzca debido a la oxidación posterior a la combustión o por degradación después de su eliminación debe contabilizarse por separado en el Sector Desechos (o en el Sector Energía, si se usa la combustión para recuperar energía). Para evitar el cómputo doble y garantizar la exhaustividad, deben realizarse verificaciones cruzadas sobre la atribución apropiada, en el Sector Energía y el Sector Desechos, de estas emisiones no relacionadas con el uso no combustible de los lubricantes.

5.2.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones originadas por los lubricantes deben calcularse utilizando el mismo método para cada año de la serie temporal.

5.2.3 Evaluación de incertidumbre

5.2.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Los factores ODU por defecto desarrollados son muy inciertos, pues están basados en un conocimiento limitado de los índices de oxidación típicas de los lubricantes. El dictamen de los expertos sugiere que se utilice una incertidumbre por defecto de 50 por ciento.

Los coeficientes de contenido de carbono están basados en dos estudios sobre el contenido de carbono y los valores calóricos de los lubricantes, de los cuales se ha estimado un intervalo de incertidumbre cercano al ± 3 por ciento (U.S.EPA, 2004).

5.2.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Una gran parte de la incertidumbre en las estimaciones de emisiones está relacionada con la dificultad para determinar la cantidad de productos no energéticos utilizados en los países individuales; basándose en el dictamen de expertos sobre la exactitud de las estadísticas energéticas, para estas incertidumbres se puede emplear un valor por defecto del 5 por ciento en los países con estadísticas de energía bien desarrolladas, y de 10 a 20 por ciento en los demás países. Si no se conoce la cantidad de lubricantes utilizados en los motores de 2 tiempos que debe restarse del consumo total utilizado aquí, la incertidumbre en los datos de la actividad será más alta y sesgada (demasiado alta). En los países donde una fracción grande del uso ocurre en los motores de 2 tiempos, el intervalo de incertidumbre en los datos de la actividad de esta sección es mucho más alto en el extremo inferior y puede estimarse de la parte que le cabe a los motores de 2 tiempos en el total del consumo nacional.

5.2.4 Garantía de calidad y Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

5.2.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD (GC) Y CONTROL DE CALIDAD (CC):

Es una *buena práctica* verificar la coherencia del consumo anual total respecto de los datos de producción, importación y exportación. Además, si se dispone de datos sobre las cantidades descartadas, recuperadas y sometidas a combustión, así como la cantidad utilizada en motores de 2 tiempos, se recomienda compararlos con las cifras de los cálculos sobre el consumo total, para verificar la coherencia interna de los datos de la actividad y de los factores ODU utilizados en los cálculos de las diferentes categorías de fuente entre uno y otro sector.

5.2.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* declarar y documentar:

- La cantidad total de lubricantes producidos, importados, exportados, consumidos y descartados debe ser declarada cuando esté disponible. Además, debe declararse la cantidad utilizada y restada para los motores de 2 tiempos. Si no se dispone de esta última información o no se la utiliza en los cálculos de emisiones, debe declararse el caso.
- Cuando se use el método de Nivel 2, los datos sobre consumo deben declararse por tipo de lubricante utilizado en los cálculos.
- Si se emplea el factor ODU por defecto, debe aclararse en la documentación del informe.
- Si se ha desarrollado un factor de emisión específico del país para los lubricantes, o en otros términos, si se ha usado un factor ODU específico del país y/o una fracción de contenidos de carbono específica del país, se deben proporcionar los datos correspondientes junto a una explicación sobre cómo se realizó la medición.
- La atribución de las emisiones de CO₂ generadas por los lubricantes indicados en el Cuadro 1.6 sobre las atribuciones de CO₂ de los usos no energéticos de los combustibles fósiles (véase el Capítulo 1 de este volumen).

5.3 USO DE LA CERA DE PARAFINA

5.3.1 Introducción

La categoría, tal como se define aquí, incluye productos como la vaselina (petrolato), ceras de parafina y otras ceras, incluida la ozocerita (mezcla de hidrocarburos saturados, sólida a temperatura ambiente). Las ceras de parafina se separan del petróleo crudo durante la producción de aceites lubricantes (destilado) livianos. Las ceras de parafina se clasifican según el contenido de aceite y el grado de refinación.

5.3.2 Cuestiones metodológicas

Las ceras se emplean en una serie de aplicaciones diferentes. Las ceras de parafina se utilizan en aplicaciones como: velas, cajas corrugadas, revestimientos de papel, encolados de placas, producción de alimentos, betunes de brillo, tensoactivos (como los utilizados en los detergentes) y muchas otras. Las emisiones provenientes del uso de las ceras se generan principalmente cuando las ceras o los derivados de la parafina se queman durante el uso (p. ej., las velas) y cuando se incineran con o sin recuperación de calor o se emplean en el tratamiento de las aguas residuales (en los tensoactivos). En los casos de la incineración y del tratamiento de las aguas residuales, las emisiones deben declararse en el Sector Energía o Desechos, respectivamente (véase la Figura 5.1).

5.3.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Existen dos niveles metodológicos para determinar las emisiones y el almacenamiento de las ceras de parafina. Tanto el método de Nivel 1 como el de Nivel 2 se apoyan esencialmente en el mismo enfoque analítico, que consiste en aplicar los factores de emisión a los datos de la actividad sobre la cantidad de ceras de parafina que se consumen en un país (en unidades de energía, p. ej., TJ). El método de Nivel 2 depende de la determinación del uso efectivo de las ceras de parafina y de la aplicación de un factor ODU específico del país a los datos de la actividad, mientras que el Nivel 1 depende de la aplicación de factores de emisión por defecto a los datos de la actividad (véase el árbol de decisión de la Figura 5.3).

Nivel 1: Las emisiones de CO₂ se calculan mediante la Ecuación 5.4 y con los datos por defecto agregados para los pocos parámetros disponibles:

$$\begin{array}{c} \text{ECUACIÓN 5.4} \\ \text{CERAS – MÉTODO DE NIVEL 1} \\ CO_2 \text{ Emisiones} = PW \cdot CC_{Cera} \cdot ODU_{Cera} \cdot 44/12 \end{array}$$

Donde:

CO₂ Emisiones = emisiones de CO₂ generadas por las ceras, toneladas de CO₂

PW = consumo total de ceras, TJ

CC_{Cera} = contenido de carbono de las ceras de parafina (por defecto), tonelada de C/TJ (=Kg. de C/GJ)

ODU_{Cera} = factor ODU de la cera de parafina, fracción

44/12 = cociente de masa del CO₂/C

Nivel 2: El método de Nivel 2 para las ceras de parafina utiliza una ecuación similar, pero deben utilizarse datos detallados sobre las cantidades producidas por tipo de uso de cera de parafina (en unidades de energía, p. ej., TJ) y, de preferencia, factores de emisión específicos del país.

$$\begin{array}{c} \text{ECUACIÓN 5.5} \\ \text{CERAS – MÉTODO DE NIVEL 2} \\ CO_2 \text{ Emisiones} = \sum_i (PW_i \cdot CC_i \cdot ODU_i) \cdot 44/12 \end{array}$$

Donde:

CO₂ Emisiones = emisiones de CO₂ generadas por las ceras, toneladas de CO₂

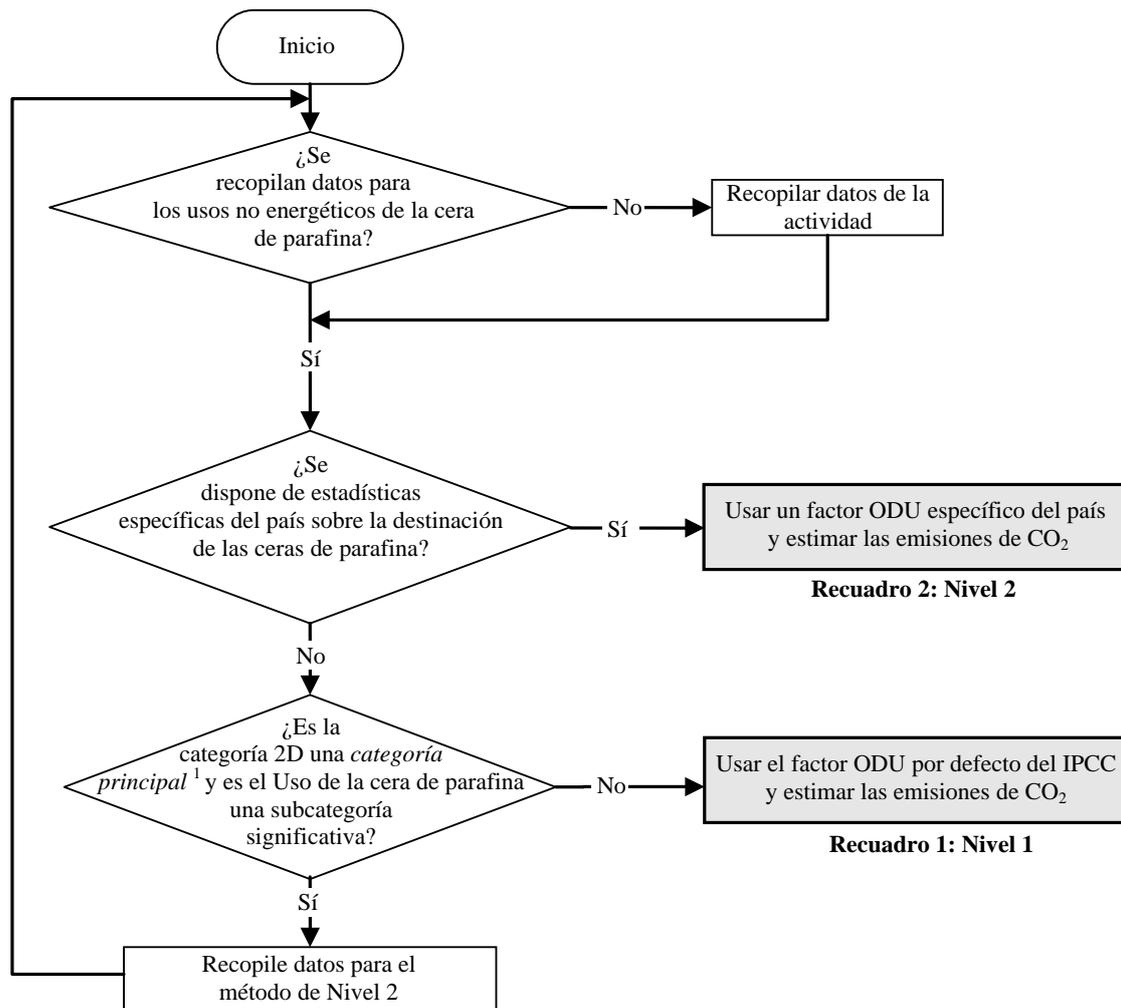
PW_i = consumo de cera de tipo *i*, TJ

CC_i = contenido de carbono de la cera tipo *i*, tonelada de C/TJ (=Kg. de C/GJ)

ODU_i = factor ODU de la cera *i*, fracción

44/12 = cociente de masa del CO₂/C

Figura 5.3 **Árbol de decisión para CO₂ el proveniente del uso no energético de las ceras de parafina**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

5.3.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Debe aplicarse un contenido de carbono específico del país o un contenido de carbono por defecto de 20,0 kg./GJ (sobre la base de un valor de calentamiento menor). (Véase el Cuadro 1.3 del Capítulo 1 del Volumen 2. Nótese que la unidad kg. de C/GJ es idéntica a la de tonelada de C/TJ.) Este valor por defecto está basado en un factor de emisión de combustión de 73,3 (API, 2004).

Nivel 1: Se puede suponer que un 20 por ciento de las ceras de parafina se usan de una manera que conduce a emisiones, principalmente a través de la quema de velas, lo cual significa un factor ODU por defecto de 0,2 (Ecuación 5.4).

Nivel 2: Aquellos países que presentan particularidades en el uso de las ceras de parafina pueden determinar sus propios factores ODU específicos del país para las ceras, basándose en el conocimiento nacional que se posea sobre la combustión (Ecuación 5.5). Estos factores pueden combinarse con el contenido de carbono por defecto indicado más arriba o con el contenido de carbono específico del país, si está disponible.

5.3.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Para estimar las emisiones se necesitan datos sobre el uso de las ceras de parafina, con los datos de la actividad expresados en unidades de energía (TJ). Para convertir los datos sobre consumo expresados en unidades físicas, p. ej. toneladas, en unidades comunes de energía, p. ej. TJ (sobre la base de un poder calórico bajo), se necesitan los valores calóricos (para obtener orientación específica, véase la Sección 1.4.1.2 del Capítulo 1 del Volumen 2

sobre Energía). Los datos básicos sobre los productos no energéticos utilizados en un país pueden obtenerse de las estadísticas nacionales sobre los datos de producción, importación y exportación y sobre la división entre usos energéticos/no energéticos. Si las estadísticas nacionales declaradas no incluyen las ceras como de categoría aparte de combustibles y las indican, en cambio, como parte de una categoría agregada como «otros productos del petróleo», se debe consultar al organismo nacional de estadísticas pues las estadísticas de productos petrolíferos se recopilan a menudo con un nivel más detallado.

5.3.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Las emisiones procedentes de la incineración (sin recuperación de energía) de las cajas recubiertas con cera corresponden al Sector Desechos. Toda emisión proveniente de las ceras de parafina que se produzca debido a la recuperación de energía debe declararse en el Sector Energía.

5.3.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones originadas por las ceras de parafina deben calcularse utilizando el mismo método y el mismo conjunto de datos para cada año de la serie temporal. Si se emplea un factor ODU específico del país, se alienta a los compiladores del inventario a verificar si la mezcla de aplicaciones cuyo destino es la emisión y el almacenamiento emisoro cambia de manera significativa con el tiempo. Si fuera el caso, es preferible que los factores ODU utilizados cada año reflejen este cambio.

5.3.3 Evaluación de incertidumbre

5.3.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Los factores de emisión por defecto son muy inciertos, pues el conocimiento sobre las condiciones nacionales respecto del destino de las ceras de parafina es limitado. Idealmente, debería emplearse un método de Nivel 2 en el cual los datos nacionales sobre el uso y destino de las ceras pudieran ser usados como sustitutos para determinar las cantidades reservadas a un destino emisoro frente a las que se destinan al almacenamiento. El coeficiente de contenido de carbono por defecto está sujeto a un intervalo de incertidumbre del ± 5 por ciento (U.S.EPA, 2004). Sin embargo, el factor ODU depende mucho de las condiciones y de las políticas específicas del país y el valor por defecto de 0,2 posee una incertidumbre cercana al 100 por ciento.

5.3.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Una gran parte de la incertidumbre en las estimaciones de emisiones está relacionada con la dificultad para determinar la cantidad de productos no energéticos utilizados y descartados en los países individuales; basándose en el dictamen de expertos sobre la exactitud de las estadísticas energéticas, para estas incertidumbres se puede emplear un valor por defecto del 5 por ciento en los países con estadísticas de energía bien desarrolladas, y de 10 a 20 por ciento en los demás países.

5.3.4 Garantía de calidad y Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

5.3.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

Es una *buena práctica* verificar la coherencia del consumo anual total respecto de los datos de producción, importación y exportación. Además, si se dispone de datos sobre las cantidades descartadas, recuperadas y sometidas a combustión, se recomienda compararlos con los cálculos sobre el consumo total, para verificar la coherencia interna de los datos de la actividad y de los factores ODU utilizados en los cálculos de las diferentes categorías de fuente entre uno y otro sector.

5.3.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una buena práctica declarar y documentar los factores de emisión específicos de los países, si se los utiliza.

- Si se ha desarrollado un factor de emisión para las ceras, específico del país o, en otras palabras, si se ha usado un factor ODU específico del país y/o una fracción de contenidos de carbono específica del país, se deben proporcionar los valores locales, junto con una explicación sobre cómo se han derivado.
- Si se emplea el factor ODU por defecto, debe aclararse en la documentación del informe.

5.4 PRODUCCIÓN Y USO DEL ASFALTO

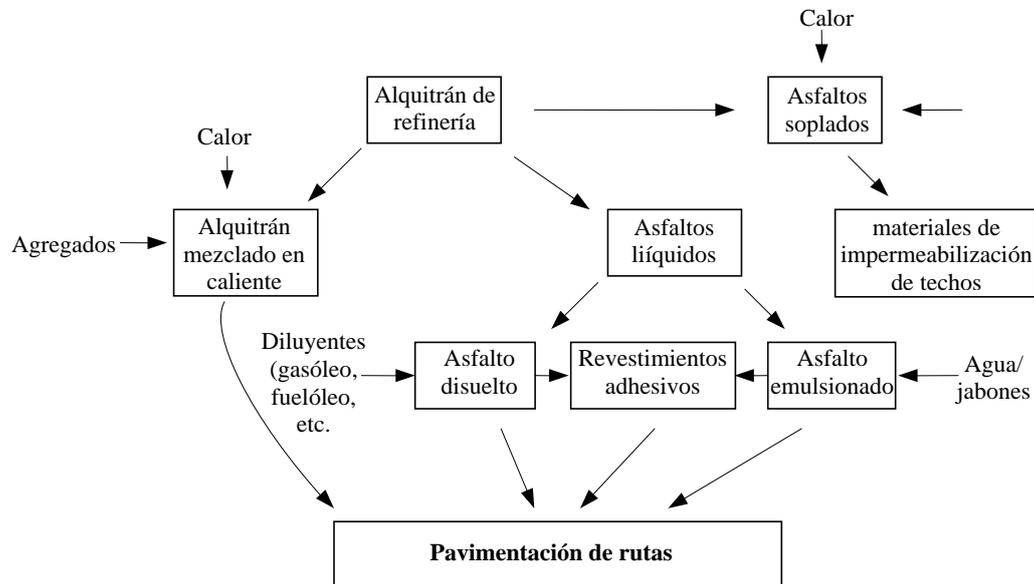
5.4.1 Introducción

Esta categoría de fuente abarca las emisiones que no provienen de la combustión por la producción del asfalto en las plantas de asfalto, exceptuadas las refinerías, y de sus aplicaciones (tales como las operaciones de pavimentación de rutas y de impermeabilización de techos, así como las liberaciones ulteriores desde las superficies). Incluye el soplado del asfalto en la impermeabilización de techos. La producción y uso del asfalto produce principalmente emisiones de COVDM, CO, SO₂ y materias granuladas. Se supone que las emisiones generadas durante la instalación de los materiales de impermeabilización de techos son insignificantes. Las emisiones provenientes de la quema de combustibles para procurar calor a los procesos de asfaltado (producción o calentamiento de la mezcla asfáltica) están cubiertas bajo el Sector Energía.

El asfalto se designa comúnmente como alquitrán, cemento asfáltico, concreto de asfalto o *road oil* y se produce principalmente en las refinerías de petróleo. En algunos países, se denomina también «asfalto» al producto mezclado que se deposita, pero se le conoce también como «macadán». En vista de las ambigüedades generadas por las diversas nomenclaturas, aquí se adopta un solo conjunto de términos y éste se aplica de manera uniforme en el texto, sin que implique preferencia alguna por los términos utilizados (véase el Recuadro 5.1).

RECUADRO 5.1

Se designará como alquitrán al líquido orgánico negro, pesado y muy viscoso que se produce en las refinerías y que se usa como sustancia de alimentación al proceso de pavimentación de rutas y de impermeabilización de techos, para distinguirlo de los productos que se fabrican a partir de él. Esto respeta también la terminología empleada en las estadísticas internacionales sobre energía, las cuales pueden proporcionar algunos de los datos requeridos para estimar las emisiones. A las temperaturas normales, el alquitrán se encuentra en un estado semi-sólido. Se procesa y se usa como se ilustra en la figura siguiente.



El diagrama muestra que el alquitrán puede calentarse y mezclarse con agregados de diferentes tamaños, diluirse con aceites de petróleo o emulsiones de agua/jabón, o calentarse y soplarse con aire para polimerizarlo y/o estabilizarlo, con el fin de acondicionarlo, por ejemplo, para el tratamiento de los materiales de impermeabilización de techos. Estas operaciones serán designadas «procesos asfálticos» y, sus productos, «productos asfálticos».

El alquitrán y los agregados se mezclan, en una planta fija o en una móvil, generalmente dentro de un radio de 30 a 50 Km. del sitio donde se pavimenta la superficie de una ruta (EAPA, 2003). En los países industrializados, típicamente, entre un 80 y un 90 por ciento del alquitrán se emplea para la fabricación de pavimentos de superficie viales (U.S.EPA, 2004). Sin embargo, en los países en desarrollo con rápido crecimiento de la infraestructura, la cantidad de alquitrán utilizado en productos de impermeabilización de techos puede ser del mismo orden de magnitud que la cantidad utilizada para pavimentar rutas (UNFCCC, 2004). Los productos asfálticos tienen otros usos, como aglutinantes o selladores, en la producción de materiales de impermeabilización de techos, como selladores de cimientos y como revestimientos de tuberías, en otros usos industriales.

Las emisiones directas de gases de efecto invernadero, p. ej., CO₂ o CH₄, asociados con la producción y el uso del asfalto son insignificantes, pues la mayoría de los compuestos ligeros de los hidrocarburos han sido ya extraídos durante el proceso de refinación para producir combustibles comerciales. De la lectura de la guía *EMEP/CORINAIR* se puede concluir que las emisiones de CH₄ a partir del alquitrán mezclado en caliente y del asfalto disuelto o revertido, así como de la industria del asfalto para impermeabilizar techos, son insignificantes (EEA, 2005). Las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el uso de pavimentos de asfalto reciclado, en calidad de agregados para nuevos pavimentos de rutas, son también insignificantes.

5.4.2 Cuestiones metodológicas

Las metodologías para las emisiones y los factores de emisión por defecto en relación con los COVDM y el CO se presentan en las secciones *Road Paving* (pavimentación de rutas) (SNAP código 040610), *Roofing Materials* (materiales de impermeabilización de techos) (SNAP código 040611) y *Asphalt Blowing* (soplado del asfalto)

(SNAP código 060310) de la guía de inventarios de emisiones de *EMEP/CORINAIR* (EEA, 2005). Se recomienda que los usuarios la consulten cuando desarrollen estimaciones detalladas para los COVDM y el CO. (Véase también el Volumen 1, Capítulo 7 de estas *Directrices*.) Nótese que en *EMEP/CORINAIR*, las emisiones generadas por el soplado del asfalto para la impermeabilización de techos se contabilizan por separado (como otras fabricaciones varias de productos químicos, con el código SNAP 060310)

La piedra caliza puede usarse como parte de los agregados del asfalto. Sin embargo, se supone que no hay liberación de CO₂ en el proceso de calentamiento (véase la Sección 2.5, Otros usos de carbonatos en los procesos, en el Capítulo 2 de este volumen).

PRODUCCIÓN Y USO DEL ASFALTO PARA PAVIMENTAR RUTAS

El pavimento de asfalto consiste en una mezcla de agregados, arena, rellenos, alquitrán y, a veces, varios aditivos. Las superficies de las rutas asfaltadas están compuestas de agregados compactados y de alquitrán aglutinante. El alquitrán mezclado en caliente o HMA (del inglés, *Hot Mix Asphalt*) es, por excelencia, el más utilizado, generalmente en más de un 80 por ciento de los casos, y produce muy pocas emisiones (EAPA, 2003). Otros tipos de pavimentos de rutas incluyen el asfalto disuelto o revertido y el asfalto emulsionado, ambos asfaltos líquidos (EEA, 2005). Los asfaltos disueltos o revertidos se licúan al mezclarlos con solventes de petróleo (diluyentes tales como los aceites residuales pesados, queroseno o solventes de nafta) y, por lo tanto, presentan un nivel relativamente alto de emisiones de CO y COVDM debido a la evaporación del diluyente. Por esto, la mayoría de las emisiones de los pavimentos de rutas provienen del uso de los asfaltos disueltos. Se distinguen tres tipos, en función de la tasa de evaporación: los de curado rápido (CR, del inglés, *Rapid-Cure*), que usan nafta o diluyentes de tipo gasolina de alta volatilidad, los de curado moderado (MC, del inglés, *Medium-Cure*) que usan diluyentes de volatilidad intermedia y los asfaltos disueltos de curado lento (SC, del inglés, *Slow-Cure*) que usan aceites de baja volatilidad. Contrastan con el llamado asfalto emulsionado que contiene principalmente agua y prácticamente ningún solvente. La cantidad de diluyente utilizado es generalmente menor en los países con clima cálido que en los países fríos y, por lo tanto, se puede esperar que los factores de emisión sean más bajos en los países cálidos.

Los datos de la actividad para el alquitrán mezclado en caliente y la producción de mezclas frías o «asfalto modificado» pueden obtenerse para la mayoría de los países europeos y para varios otros países industrializados afiliados a la Asociación Europea de Pavimentos de Asfalto (EAPA, *European Asphalt Paving Association*) o a asociaciones nacionales de pavimentos y techos tales como el *Asphalt Institute* (EAPA, 2003; Asphalt Institute, 2004). El asfalto mezclado en caliente contiene típicamente alrededor de un 8 por ciento de cemento asfáltico (alquitrán) (EEA, 2005), pero puede variar entre los países (se ha declarado también una cifra de 5 por ciento). Para la mayoría de los países industrializados, la fracción de asfalto disuelto constituye un pequeño porcentaje, pero muchos presentan una proporción del 5 al 12 por ciento y, en casos excepcionales, hasta del 20 por ciento, o bien, ninguno (EAPA, 2002; EAPA 2003; U.S. EPA, 2004). Si no se conoce la cantidad de asfalto utilizado en los pavimentos, pero se conoce el área pavimentada, para calcular la masa de asfalto producido se puede usar un factor de conversión de 100 Kg. de asfalto/m² de superficie de ruta pavimentada.

Los gases se emiten en las plantas de asfalto (mezclado en caliente, disuelto o emulsionado), en las operaciones de asfaltado de las superficies de las rutas y ulteriormente en las superficies de las rutas asfaltadas. La guía de inventarios de emisiones de *EMEP/CORINAIR* proporciona factores de emisión específicos de los procesos, pero no controlados, para las diferentes plantas de asfalto.

IMPERMEABILIZACIÓN DE TECHOS CON ASFALTO

La industria de la impermeabilización de techos con asfalto produce fieltros saturados, tejas y rollos para paramentos horizontales y verticales: tejas asfaltadas, rollos de techado de superficie lisa con fieltros orgánicos y de asbesto, paramentos recubiertos con rollos de fieltro orgánico y de asbesto con superficie mineral, fieltros orgánicos y de asbesto saturados de asfalto, láminas saturadas y/o recubiertas con asfalto y compuesto asfáltico. La mayoría de estos productos se utilizan para impermeabilizar techos y otras aplicaciones de la construcción. La fabricación de fieltro asfáltico, de paramentos y de tejas asfaltadas implica la saturación o el recubrimiento de fieltros. Las etapas principales del proceso total incluyen el almacenamiento del asfalto, el soplado del asfalto, la saturación de los fieltros, el recubrimiento y depósito de superficies minerales, entre los cuales se trata aquí el soplado del asfalto. Las emisiones directas de gases de efecto invernadero de los productos de impermeabilización de techos son insignificantes comparadas con emisiones tales como los COVDM, el CO y las materias granuladas.

El soplado del asfalto es el proceso de polimerización y de estabilización del asfalto que mejora sus características de impermeabilización. Los asfaltos soplados se utilizan en la elaboración de productos asfálticos para techos. El soplado se realiza en una planta de procesamiento de asfalto o en una planta de

impermeabilización de techos (o también, en una refinería)³. El soplado del asfalto origina las emisiones más elevadas de COVDM y CO, más que ninguna otra etapa del proceso. Todo el asfalto utilizado para otras aplicaciones que los pavimentos es asfalto soplado (EEA, 2005).

5.4.3 Exhaustividad

Si no se dispone (explícitamente) de información sobre emisiones para esta categoría de fuente, se debe verificar si no han sido ya incluidas en otra categoría (p. ej., en emisiones de refinerías).

5.4.4 Evaluación de incertidumbre

Aunque se considera que los resultados obtenidos con los métodos más sofisticados son los más exactos, la incertidumbre para las emisiones de COVDM y de CO provenientes de la pavimentación de rutas y de la impermeabilización de techos puede situarse dentro de un intervalo de ± 25 por ciento, e incluso más grande si los cálculos no se han realizado sobre la base de datos detallados relativos a la actividad y a la tecnología de control (desde -100 por ciento a + 25 por ciento).

Los factores de emisión para los COVDM y el CO en el caso de la producción de HMA mediante mezcla por lotes y en tambor mezclador tienen un intervalo de incertidumbre cercano al ± 50 por ciento, mientras que los factores de emisión para la producción total de HMA y para la producción de asfalto disuelto y su uso tienen una incertidumbre cercana al ± 100 (vale decir, entre -50 por ciento y +100 por ciento). Cuando se usan factores de emisión específicos del país para la producción y pavimentación de asfalto disuelto, la incertidumbre en los factores de emisión puede ser considerablemente menor, p. ej., en el intervalo de ± 50 por ciento.

Los datos de producción para el HMA y el asfalto disuelto pueden alcanzar una exactitud de ± 10 por ciento cuando se basan en datos compilados por la industria de la producción de asfalto o de la construcción. Sin embargo, cuando los datos de la actividad del asfalto disuelto deben extrapolarse, las incertidumbres son muy grandes, pues se ha observado que para varios países, la cantidad de asfalto disuelto utilizado puede variar sustancialmente de un año para otro; las variaciones por un factor de dos, o más, no son raras (EAPA, 2002; EAPA 2003; U.S. EPA, 2004). Asimismo, los datos sobre los tipos de mezclas en las plantas de producción de HMA y sobre las tecnologías de control aplicadas, así como los tipos de mezclas en los asfaltos disueltos (RC, MC, SC), serán, por lo general, menos exactos que los datos sobre la producción total. Si las contabilizaciones son exhaustivas, la incertidumbre asociada a las estadísticas de producción de asfalto y de materiales de impermeabilización de techos puede alcanzar exactitudes de hasta un ± 10 por ciento. De no ser así, la incertidumbre en el extremo superior del intervalo puede ser tan alta como 100 por ciento o más.

La fracción de contenido de carbono fósil por defecto de los COVDM para la producción de asfalto y para el uso en pavimentos de rutas varía entre el 40 y el 50 por ciento, en términos de masa, y alcanza el 80 por ciento para los COVDM del asfaltado de techos (calculado a partir de las especies de COVDM proporcionadas por la Guía de inventarios de emisiones *EMEP/CORINAIR*).

5.4.5 Generación de informes y documentación

Las emisiones relativamente pequeñas de la producción y uso del asfalto, incluido el soplado del asfalto, deben declararse bajo la subcategoría 2D4 «Otros» de la categoría de fuente 2D «Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes»

³ En los inventarios de la UNECE, las emisiones relacionadas están contabilizadas bajo el rubro fabricación de productos químicos varios (*miscellaneous chemical product manufacture*), (separadas de la fabricación y/o aplicaciones de los materiales asfálticos de impermeabilización de techos, códigos SNAP 040610 y 060310) o bajo el rubro emisiones fugitivas desde las refinerías (véase la Guía de inventarios de emisiones de *EMEP/CORINAIR*), pero en el inventario de gases de efecto invernadero, todas las emisiones, incluidas las emisiones de los precursores, deben declararse bajo la subcategoría 2D4 «Otros».

5.5 USO DE SOLVENTES

5.5.1 Introducción

El uso de los solventes fabricados con combustibles fósiles utilizados como sustancias de alimentación a procesos puede resultar en emisiones evaporativas de varios compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), que continúan oxidándose ulteriormente en la atmósfera. Los combustibles fósiles utilizados como solventes son, notablemente, el espíritu blanco y el queroseno. El espíritu blanco se emplea como solvente de extracción, de limpieza, de desgrase y como solvente en los aerosoles, pinturas, conservantes de la madera, lacas, barnices y productos asfálticos. En Europa Occidental, alrededor del 60 por ciento del consumo total de espíritu blanco corresponde a su uso en pinturas, lacas y barnices. El espíritu blanco es el solvente más ampliamente utilizado en la industria de la pintura.

Las metodologías para estimar estas emisiones de COVDM pueden consultarse en la Guía de inventarios de emisiones de *EMEP/CORINAIR* (EEA, 2005). Esta categoría de fuente «Uso de solvente», se trata como categoría aparte pues la naturaleza de esta fuente requiere un método diferente de estimación de las emisiones que el empleado para calcular otras categorías de emisiones. Por esta razón, las *Directrices del IPCC de 2006* tratan este tema también como categoría aparte. En la guía *EMEP/CORINAIR*, la subcategoría «Uso de solventes y otros productos», corresponde al grupo 6 de la nomenclatura seleccionada para las fuentes de contaminación atmosférica (SNAP, del inglés, *Selected Nomenclature for sources of Air Pollution*) y está dividida en cinco subcategorías. Excluida la quinta, «Uso de otros productos» que se refiere a los gases F, N₂O y amoníaco, cubiertas en otras partes del Volumen IPPU, estas subcategorías son las siguientes:

- SNAP 0601: Aplicación de pinturas;
- SNAP 0602: Eliminación de grasas, lavado a seco y electrónica;
- SNAP 0603: Fabricación o procesamiento de productos químicos. Incluidos el procesamiento del poliéster, PVC, espumas y gomas, fabricación de pinturas, tintas, colas y adhesivos y el acabado de los textiles;
- SNAP 0604: Otros usos de los solventes y actividades relacionadas. Incluidas las actividades tales como el «enduido» (es decir, los revestimientos) de lana de vidrio y lana mineral, industria de la pintura, extracción de grasas y aceites, usos de colas y adhesivos, preservación de la madera, uso de solventes domésticos (diferentes de la aplicación de pinturas), tratamiento de imprimación y desparafinado de vehículos.

Aparte de las emisiones originadas en el transporte terrestre y, cuando fuere el caso, en la producción y el manejo de la combustión de aceites y de biocombustibles, esta categoría de fuente es a menudo la más grande de las emisiones de COVDM y la proporción puede variar entre 5 por ciento y 30 por ciento, con un promedio mundial cercano al 15 por ciento (Olivier y Berdowski, 2001).

5.5.2 Exhaustividad

Las emisiones provenientes de esta categoría de fuente pueden estimarse con métodos basados en la producción o en el consumo. Si no se dispone de las cifras sobre el total del consumo nacional de pinturas, etc., el consumo nacional aparente puede inferirse de la producción, de las importaciones y de las exportaciones. Sin embargo, si las estadísticas comerciales no son exhaustivas, esto puede introducir una incertidumbre significativa en los datos de la actividad. Se recomienda, por lo tanto, que los compiladores del inventario traten de garantizar que todos los usos evaporativos de los solventes y de otros productos estén cubiertos por las estimaciones de las emisiones de COVDM.

5.5.3 Desarrollo de una serie temporal coherente

En general, se espera que para esta categoría de fuente se produzcan sólo pequeños cambios anuales. Sin embargo, cuando se implementan políticas ambientales destinadas a reemplazar los compuestos volátiles más tóxicos de los solventes (p. ej., con agua), tanto las emisiones de COVDM como los contenidos de carbono fósil de las emisiones de los COVDM pueden cambiar con el tiempo.

5.5.4 Evaluación de la incertidumbre

La incertidumbre en las emisiones de COVDM será generalmente bastante elevada, p. ej., alrededor del ± 50 por ciento, excepto en los países que han desarrollado un inventario detallado para estas fuentes, en cuyo caso la

incertidumbre puede ser del orden del 25 por ciento. La fracción de contenido de carbono fósil por defecto de los COVDM es de 60 por ciento, en términos de masa, sobre la base de las limitadas publicaciones nacionales de análisis del perfil de las especies (U.S. EPA, 2002; Austria, 2004; Hungary, 2004; Klein Goldewijk *et al.*, 2005). Esta fracción puede variar entre 50 y 70 por ciento de carbono por unidad de masa, lo cual resulta en una incertidumbre de ± 10 por ciento. Las fracciones específicas de los países deberían tener una incertidumbre menor, p. ej., del ± 5 por ciento.

Referencias

- API (2004). Compendium of Greenhouse Gas Emissions Methodologies for the Oil and Gas Industry, American Petroleum Institute (API), Table 4-2. Washington, DC, February 2004.
- Asphalt Institute (2004). Website http://www.asphaltinstitute.org/ai_pages/links/, visited 19 November 2004.
- Austria (2004). Austria's National Inventory Report 2004. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Umweltbundesamt, BE-244, Vienna.
- EAPA (2002). European Asphalt Pavement Association., Asphalt in Figures 2002. Available at website <http://www.eapa.org>, visited 19 November 2004.
- EAPA (2003). European Asphalt Pavement Association., Asphalt in Figures 2003. Available at website <http://www.eapa.org>, visited 19 November 2004.
- EEA (2005). "EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook - 2005", European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site see: <http://reports.eea.eu.int/EMEP/CORINAIR4/en>
- Hungary (2004). Hungarian National Inventory Report for 2002. General Directorate for Environment, Nature and Water, UN Framework Convention on Climate Change, Directorate for Environmental Protection, Budapest.
- Klein Goldewijk, K., Olivier, J.G.J., Peters, J.A.H.W., Coenen, P.W.H.G. and Vreuls, H.H.J. (2005). Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2003. National Inventory Report 2005. RIVM Report no. 773201 009/2005. RIVM, Bilthoven.
- Olivier, J.G.J. and Berdowski, J.J.M. (2001). Global emissions sources and sinks. In: Berdowski, J., Guicherit, R. and B.J. Heij (eds.) "The Climate System", pp. 33-78. A.A. Balkema Publishers / Swets & Zeitlinger Publishers, Lisse, The Netherlands. ISBN 90 5809 255 0.
- Rinehart, T. (2000). Personal communication between Thomas Rinehart of U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, and Randall Freed of ICF Consulting, July 2000.
- UNFCCC (2004). Emissions data and National Inventory Reports. Website http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/2761.php visited 19 November 2004.
- U.S. EPA (2002). National Air Quality and Emissions Trends Report data, 1900-2000. United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Research Triangle Park, NC.
- U.S. EPA (2004). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2002. United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Washington, DC.

CAPÍTULO 6

EMISIONES DE LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA

Autores

Scott Bartos (Estados Unidos)

Laurie S. Beu (Estados Unidos), C. Shepherd Burton (Estados Unidos), Charles L. Fraust (Estados Unidos), Francesca Illuzzi (Italia), Michael T. Mocella (Estados Unidos) y Sebastien Raoux (Francia/Estados Unidos)

Autores colaboradores

Guido Agostinelli (Italia), Erik Alsema (Países Bajos), Seung-Ki Chae (República de Corea), Vasilis M. Fthenakis (Estados Unidos), Joseph Van Gompel (Estados Unidos), Hideki Nishida (Japón), Takayuki Oogoshi (Japón) y Kurt T. Werner (Estados Unidos)

Índice

6	Emisiones de la industria electrónica	6.5
6.1	Introducción	6.5
6.2	Cuestiones metodológicas.....	6.6
6.2.1	Elección del método	6.6
6.2.1.1	Decapado y limpieza por CVD de semiconductores, pantallas de cristal líquido y dispositivos fotovoltaicos.	6.6
6.2.1.2	Fluidos de transferencia térmica	6.15
6.2.2	Elección de los factores de emisión.....	6.17
6.2.2.1	Decapado y limpieza por CVD de semiconductores, pantallas de cristal líquido y dispositivos fotovoltaicos.	6.17
6.2.2.2	Fluidos de transferencia térmica	6.25
6.2.3	Elección de los datos de la actividad	6.25
6.2.4	Exhaustividad	6.28
6.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	6.29
6.3	Evaluación de incertidumbre	6.29
6.3.1	Incertidumbres del factor de emisión	6.30
6.3.2	Incertidumbres en los datos de la actividad.....	6.30
6.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	6.33
6.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC).....	6.33
6.4.2	Generación de informes y documentación	6.33
Referencias	.....	6.35

Ecuaciones

Ecuación 6.1	Método de Nivel 1 para la estimación del conjunto de emisiones de CF.....	6.10
Ecuación 6.2	Método de Nivel 2a para estimar las emisiones de CF	6.11
Ecuación 6.3	Emisiones de producto derivado CF_4	6.11
Ecuación 6.4	Emisiones de producto derivado C_2F_6	6.11
Ecuación 6.5	Emisiones de producto derivado CHF_3	6.11
Ecuación 6.6	Emisiones de producto derivado C_3F_8	6.12
Ecuación 6.7	Método de Nivel 2b para estimar las emisiones de CF	6.12
Ecuación 6.8	Emisiones de producto derivado CF_4	6.13
Ecuación 6.9	Emisiones de producto derivado C_2F_6	6.13
Ecuación 6.10	Emisiones de producto derivado CHF_3	6.13
Ecuación 6.11	Emisiones de producto derivado C_3F_8	6.14

Ecuación 6.12	Método de Nivel 1 para estimar el total de emisiones de los CF generadas por los fluidos de transferencia térmica	6.15
Ecuación 6.13	Método de Nivel 2 para estimar las emisiones de los CF generadas por los fluidos de transferencia térmica	6.16

Figuras

Figura 6.1	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de los CF generadas por la fabricación de productos electrónicos.....	6.9
Figura 6.2	Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de los CF generadas por las pérdidas de fluidos de transferencia térmica en la fabricación de productos electrónicos.	6.17

Cuadros

Cuadro 6.1	Fuentes de información necesarias para completar los métodos de estimación de emisiones por niveles para la fabricación de componentes electrónicos.....	6.8
Cuadro 6.2	Factores de emisión de Nivel 1 específicos de los gases para las emisiones de CF generadas por la fabricación de productos electrónicos.....	6.18
Cuadro 6.3	Factores de emisión por defecto de Nivel 2 para las emisiones de CF generadas por la fabricación de semiconductores.....	6.20
Cuadro 6.4	Factores de emisión por defecto de Nivel 2 para las emisiones de CF generadas por la fabricación de LCD.....	6.21
Cuadro 6.5	Factores de emisión por defecto de Nivel 2 para las emisiones de CF generadas por la fabricación de PV.....	6.22
Cuadro 6.6	Parámetros de eficiencia por defecto de Nivel 2a y 2b para las tecnologías de reducción de las emisiones de los CF en la industria electrónica	6.23
Cuadro 6.7	Capacidades totales de diseño de silicio y de vidrio por país para 2003, 2004 y 2005.....	6.27
Cuadro 6.8	Capacidad total de producción de PV por país para 2003.....	6.28
Cuadro 6.9	Estimaciones por defecto de los errores relativos (%) de Nivel 2 asociados a los factores de emisión de CF para la fabricación de semiconductores, con un intervalo de confianza del 95 por ciento	6.31
Cuadro 6.10	Estimaciones por defecto de los errores relativos (%) de Nivel 2 asociados a los factores de emisión de los CF para la fabricación de LCD, con un intervalo de confianza del 95 por ciento	6.32
Cuadro 6.11	Información necesaria para una transparencia total de las estimaciones de las emisiones provenientes de la fabricación de productos electrónicos.....	6.34

Recuadro

Recuadro 6.1	Ejemplo para la fabricación de semiconductores.....	6.15
--------------	---	------

6 EMISIONES DE LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA

6.1 INTRODUCCIÓN

Varios procesos de fabricación de la electrónica avanzada utilizan compuestos fluorados (CF) para realizar intrincados patrones de circuitos mediante decapado por plasma, para limpiar las cámaras de reacción y para controlar la temperatura. Los sectores específicos de la industria electrónica que se analizan en este capítulo incluyen la fabricación de semiconductores, pantallas planas a transistores de película delgada (TFT-FPD, del inglés, *thin-film-transistor flat panel display*) y dispositivos fotovoltaicos (PV, del inglés, *photovoltaic*) (denominados genéricamente «industria electrónica».¹

Actualmente, la industria electrónica emite por igual, CF gaseosos y CF líquidos a temperatura ambiente. Entre estos gases están incluidos los compuestos CF_4 , C_2F_6 , C_3F_8 , $c-C_4F_8$, $c-C_4F_8O$, C_4F_6 , C_5F_8 , CHF_3 , CH_2F_2 , trifluoruro de nitrógeno (NF_3) y hexafluoruro de azufre (SF_6), que se usan en dos etapas importantes de la fabricación de productos electrónicos: (i) el decapado por plasma de los materiales que contienen silicio y (ii) la limpieza de las paredes de las cámaras de deposición química en fase de vapor (CVD, del inglés, *chemical vapour deposition*), donde se ha depositado el silicio.² La mayoría de las emisiones de los CF resultan de una limitada eficiencia de utilización (vale decir, del consumo) de los precursores de los CF durante el proceso de decapado y de limpieza. Además, una fracción de los compuestos fluorados utilizados en el proceso de producción pueden convertirse en producto derivado CF_4 y, en algunos casos, en C_2F_6 , CHF_3 y C_3F_8 .³ Por igual, debe tomarse en cuenta la formación de CF_4 como producto derivado del decapado y de la limpieza de materiales de constante dieléctrica reducida (bajo-k) que contienen carbono (o carburo).⁴ Asimismo, el uso de F_2 , COF_2 , y ClF_3 puede aumentar. Estos gases, aunque no contribuyen por sí mismos al calentamiento atmosférico, bajo ciertas condiciones pueden conducir a la formación de CF_4 .

Los fabricantes de productos electrónicos utilizan los CF para controlar la temperatura durante algunos procesos. Conocidos también como fluidos de transferencia térmica, estos CF son líquidos a temperatura ambiente y poseen presiones de vapor considerables. Las pérdidas por evaporación contribuyen a las emisiones totales de CF. Estas pérdidas se producen durante el enfriamiento de ciertos equipos del proceso, durante los ensayos de los dispositivos de semiconductores encapsulados y durante la soldadura por reflujo en fase vapor de los componentes electrónicos de los circuitos integrados. Aparentemente, las pérdidas por evaporación no ocurren cuando se utilizan los CF líquidos para enfriar los componentes electrónicos ni los sistemas durante la operación. En este tipo de aplicación, los CF líquidos permanecen confinados en sistemas cerrados a lo largo de la vida útil

¹ Recientes estudios exhaustivos realizados por los fabricantes europeos y estadounidenses de PV indican que entre un 40 y un 50 por ciento de los fabricantes de PV usan cantidades relativamente pequeñas de CF (donde el CF_4 predomina durante el decapado de las pastillas de silicio cristalino y el C_2F_6 durante la limpieza de la cámara después de la deposición de las películas de $SiNx$). Según estos estudios, que datan del 2004, la utilización mundial de CF_4 era aproximadamente de 30 Mtoneladas. Aunque el uso mundial de los CF pareciera bajo en 2004, unos pronósticos fiables indican un crecimiento de la industria de PV de aproximadamente un 30 por ciento anual (y más) para el futuro cercano. Más aún, varios informes exaltan las virtudes del uso de los CF como medio de aumentar la productividad de la fabricación y de disminuir los costos para las tecnologías basadas en el silicio (Shah *et al.*, 2004; Maycock, 2005; Agostinelli *et al.*, 2004 y Rentsch *et al.*, 2005). Tales tasas esperadas de crecimiento y la perspectiva de aumento en el uso de los CF constituyen una motivación para incluir en este capítulo las emisiones de CF originadas por la fabricación de PV.

² En este capítulo se analizan las emisiones de C_3F_8 aunque a este compuesto no se le haya asignado un potencial de calentamiento atmosférico (PCA) reconocido por el IPCC. El C_3F_8 es un gas de efecto invernadero directo y las emisiones pueden estimarse empleando los métodos y los datos que se describen en este capítulo. La vida media del C_3F_8 atmosférico es de aproximadamente 1 año, lo cual arroja un PCA relativamente bajo (Sekiya, 2003).

³ Se han observado emisiones de C_2F_6 como producto derivado a partir de la descomposición de las moléculas de C_4F_6 y éstas pueden ocurrir para otras moléculas de CF con más de dos átomos de carbono. Nótese que para la mayoría de los precursores de CF, no se ha observado la formación de C_2F_6 como producto derivado. Se ha declarado la formación de CHF_3 cuando se usa el $c-C_4F_8$ como decapante en la fabricación de TFT-FPD y se han declarado emisiones de C_3F_8 como producto derivado cuando se usa el C_4F_8O para la limpieza de las cámaras.

⁴ Los materiales con baja constante dieléctrica (bajo k) se utilizaron inicialmente como aislantes en los nodos de $0,25\mu m$ o menos, de las estructuras interconectadas en los «chips» o pastillas de semiconductores. Muchos de los materiales de bajo k contienen carbono que puede ser eliminado como CF_4 durante el decapado de las películas delgadas o durante la limpieza de los reactores CVD utilizados para la deposición de bajo k. El CF_4 puede formarse también durante la limpieza de los reactores CVD utilizados para la deposición de carburos.

del producto o del sistema. En el sector electrónico se comercializan más de 20 CF líquidos diferentes, que son a menudo mezclas de compuestos totalmente fluorados.⁵ Dado que los equivalentes CO₂ de cada líquido difieren, debe investigarse y declararse cada uno por separado. El valor preciso de esta conversión está determinado por los requerimientos declarativos específicos que sean aplicables.^{6, 7} Además, los CF líquidos se usan ocasionalmente para limpiar las pantallas TFT-FPD durante la fabricación.

6.2 CUESTIONES METODOLÓGICAS

6.2.1 Elección del método

6.2.1.1 DECAPADO Y LIMPIEZA POR CVD DE SEMICONDUCTORES, PANTALLAS DE CRISTAL LÍQUIDO Y DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS.

Las emisiones varían según los gases utilizados en la fabricación de los diferentes tipos de dispositivos electrónicos, el proceso empleado (o más groseramente, del tipo de proceso (p. ej., CVD o decapado)), la marca de las herramientas de proceso utilizadas y la implementación de una tecnología de reducción de las emisiones.

La elección de los métodos depende de la disponibilidad de los datos, tal como se bosqueja en el árbol de decisión, véase Figura 6.1, Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de los CF generadas por la fabricación de productos electrónicos. Las emisiones provenientes de los CF líquidos se estiman con los métodos de Nivel 1, 2 y 3 que se describen separadamente en esta sección.⁸

El monitoreo continuo de las emisiones (in situ) se considera actualmente un medio técnica y económicamente inviable para estimar las emisiones de esta industria. En todo caso, las emisiones de los CF se miden periódicamente durante el desarrollo de nuevos procesos y herramientas y después de establecidas las condiciones de un proceso listo para la producción comercial (conocidas también como condiciones del proceso nominal).⁹ Antes de lanzar la producción en gran escala, la industria busca establecer los diseños del proceso nominal que minimizarán las emisiones de CF. Sin embargo, nótese que las emisiones de los CF pueden verse afectadas por cambios en las variables del proceso (p. ej., presión, temperatura, potencia de plasma, flujo de gas CF, tiempo de procesamiento). Por lo tanto, la exactitud de los métodos empleados para estimar las emisiones se verá afectada por las diferencias eventuales entre el proceso utilizado para la producción y el proceso nominal de referencia. Además, la eficacia de los equipos de control de las emisiones de los CF depende de que los equipos se operen y mantengan según las especificaciones de los fabricantes: los aumentos en los flujos de gases, la programación de temperaturas inadecuadas y la falta del mantenimiento necesario afectan individual y colectivamente el rendimiento de manera negativa.

La exactitud de las emisiones estimadas depende del método utilizado. El método de Nivel 1 utiliza valores por defecto para todos los parámetros y no toma en cuenta el uso de tecnologías de control de las emisiones. El

⁵ En un estudio relativamente reciente se resumen los usos de los CF líquidos (fluidos de transferencia térmica), su composición química, sus PCA, entre otras características. Véase Burton (2004a).

⁶ Estos materiales se comercializan bajo las marcas comerciales Fluorinert™ y Galden®. Los materiales Fluorinert™ son seleccionados a partir de alcanos, éteres, aminas terciarias y aminoéteres completamente fluorados y de mezclas entre éstos para obtener las propiedades deseadas. Los fluidos Galden® abarcan una gama de poliéteres completamente fluorados llamados perfluoropoliéteres (PFPE) y son también seleccionados debido a las propiedades deseadas.

⁷ Allí donde se utilice una mezcla comercial, los compiladores del inventario deben garantizar que se empleen los factores de emisión apropiados para convertir la masa de mezcla en equivalente CO₂.

⁸ La lógica de las decisiones descrita gráficamente en la Figura 1.6 no indica la posibilidad de combinar los niveles para mejorar las estimaciones de emisiones. Por ejemplo, se pueden alcanzar estimaciones mejoradas de las emisiones usando el Nivel 3 para un gas y proceso específicos y el Nivel 2b para otros gases y procesos, en vez de emplear solamente el método de Nivel 2b. Por igual, los métodos de Nivel 2a y 2b pueden combinarse para obtener estimaciones mejoradas en comparación con las obtenidas usando solo el Nivel 2b. Sin embargo, el método de Nivel 1 no debe combinarse con ningún otro.

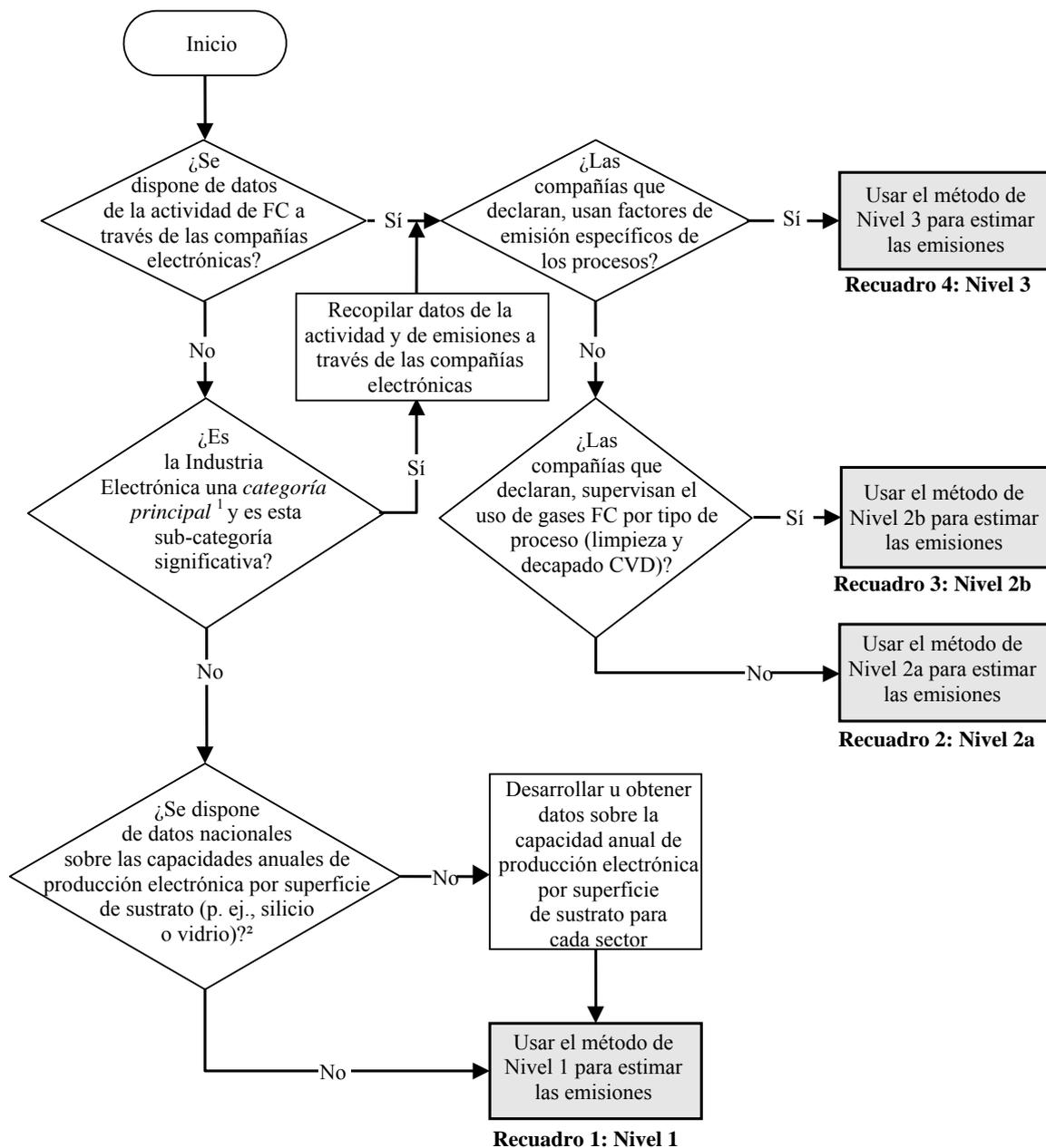
⁹ Las condiciones del proceso nominal se refieren a las condiciones bajo las cuales los fabricantes estandarizan sus equipos para la venta. Son las especificaciones nominales para los flujos gaseosos, la presión de cámara, el tiempo de procesamiento, la potencia de plasma, etc. Es una práctica común que los fabricantes de dispositivos semiconductores modifiquen estas condiciones para optimizar el proceso con el fin de responder a necesidades específicas.

método de Nivel 2a emplea datos específicos de las compañías sobre la proporción de gas utilizada en los procesos, con y sin tecnología de control de las emisiones, pero no distingue entre el decapado y la limpieza y emplea valores por defecto para los demás parámetros. El método de Nivel 2b utiliza datos específicos de las compañías sobre la proporción de gas utilizada en el *decapado*, en comparación con la *limpieza*, y sobre la proporción de gas utilizado en los procesos con tecnología de control de las emisiones, pero se apoya en valores por defecto para todos o algunos de los demás parámetros. El método más riguroso, el de Nivel 3, exige todo un conjunto de datos específicos de los procesos en vez de valores por defecto.

En el Cuadro 6.1 se resumen los datos requeridos para los métodos de estimación de emisiones por nivel, para la fabricación de componentes electrónicos.

CUADRO 6.1					
FUENTES DE INFORMACIÓN NECESARIAS PARA COMPLETAR LOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR NIVELES PARA LA FABRICACIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS					
	Datos	Nivel 1	Nivel 2a	Nivel 2b	Nivel 3
Gas de proceso entrante en la herramienta	$FC_{i,p}$ = Kg. de gas i suministrado a un proceso específico p o a un conjunto reducido de herramientas comunes de un proceso (p. ej., decapado del nitruro de silicio).				M
	$FC_{i,p}$ = kg. de gas i suministrado a una categoría amplia de procesos (p. ej., decapado o limpieza de cámara por CVD)		M	M(decapado) y M(CVD)	
	h = fracción del gas que permanece en el contenedor de transporte después del uso.		D	D	M
Reacciones del gas de proceso y destrucción en la herramienta	$U_{i,p}$ = tasa de uso (fracción destruida o transformada) para cada gas i y proceso p .		D	D(decapado) y D(CVD) ^a	M
	$B_{CF_4,i,p}$, $B_{C_2F_6,i,p}$, $B_{CHF_3,i,p}$ y $B_{C_3F_8,i,p}$ = factor de emisión para las emisiones de productos derivados CF_4 , C_2F_6 , CHF_3 y C_3F_8 respectivamente para el gas i para cada proceso.		D	D(decapado) y D(CVD) ^a	M
Control de las emisiones de FC en el proceso posterior	$a_{i,p}$ = fracción del volumen de gas i suministrado a los procesos con tecnologías de control de emisiones de los CF homologadas.		M	M	M
	$d_{i,p}$ = fracción del gas i destruido por la tecnología de control de emisiones.		D	D ^a	M
	$d_{CF_4,p}$, $d_{C_2F_6,p}$, $d_{CHF_3,p}$ y $d_{C_3F_8,p}$ = fracciones respectivas de los productos derivados CF_4 , C_2F_6 , CHF_3 y C_3F_8 destruidos por la tecnología de control de emisiones. ^b				M
Capacidad de producción anual	C_d = capacidad anual de diseño de la fabricación en términos de área de la superficie de sustrato procesada (p. ej., silicio, vidrio).	M			
	C_u = fracción de la utilización de la capacidad anual	D/M			
<p>M = mídansen o adquieránsen estos valores.</p> <p>D = Utilícense los valores por defecto de la orientación.</p> <p>^a Cuando estén disponibles y se puedan justificar para los métodos de Nivel 2a y 2b, los valores M pueden sustituirse por valores D Véanse las condiciones del Cuadro 6.6.</p> <p>^b No existen valores por defecto para los métodos de Nivel 2a y 2b, pues el efecto de los productos derivados ha sido incorporado en los valores-D para $d_{i,p}$ correspondiente el gas i.</p>					

Figura 6.1 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de los CF generadas por la fabricación de productos electrónicos**



Nota

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

MÉTODO DE NIVEL 1 – POR DEFECTO

El método de estimación de Nivel 1 es el menos exacto y debe emplearse solamente en los casos en los que no se disponga de datos específicos de las compañías. A diferencia de los métodos de Nivel 2 ó 3, el método de Nivel 1 está diseñado para proporcionar estimaciones agregadas de las emisiones de CF, a pesar de que su metodología pareciera estimar emisiones específicas de los gases. Las estimaciones se efectúan simultáneamente para todos los gases enumerados en el Cuadro 6.2 y pueden utilizarse sólo si se han declarado como un conjunto completo. Los cálculos de las estimaciones se apoyan en un conjunto fijo de factores genéricos de emisión. Los elementos del conjunto difieren según el sector (o la clase) de los productos electrónicos fabricados (semiconductores, TFT-FPD o células PV). Cada elemento de un conjunto, que corresponde a un factor de emisión específico del gas, expresa las emisiones promedio por unidad de área de la superficie de sustrato (p. ej., silicio, pantalla TFT-FPD o célula PV) consumido durante la fabricación. Para cada clase de productos electrónicos, los factores (elementos del conjunto) se multiplican por la utilización de la capacidad anual (C_u , una fracción) y la capacidad

anual de diseño de la fabricación (C_d , en unidades de giga metros cuadrados (Gm^2)) de procesamiento de sustrato. El producto ($C_u \cdot C_d$) es una estimación de la cantidad de sustrato consumido durante la fabricación electrónica. El resultado es un conjunto de emisiones anuales expresadas en kg. de gases que abarcan el conjunto para cada clase de productos electrónicos. Debido a que el uso de los CF varía ampliamente durante la producción de PV, para estimar las emisiones de los CF generadas por la fabricación de células PV, se necesita un tercer factor que dé cuenta de la proporción de PV fabricado que emplea CF. La fórmula del Nivel 1 se muestra en la Ecuación 6.1.

ECUACIÓN 6.1
MÉTODO DE NIVEL 1 PARA LA ESTIMACIÓN DEL CONJUNTO DE EMISIONES DE CF

$$\{FC_i\}_n = \{EF_i \cdot C_u \cdot C_d \cdot [C_{PV} \cdot \delta + (1 - \delta)]\}_n \quad (i = 1, \dots, n)$$

Donde:

$\{FC_i\}_n$ = emisiones de gas CF i , masa del gas i

Nota: $\{ \}_n$ denota el conjunto para cada clase de productos (semiconductores, TFT-FPD o células PV) y n denota el número de gases incluidos en cada conjunto (seis para los semiconductores, tres para la fabricación de TFT-FPD y dos para las células PV. Véase el Cuadro 6.2.) Las estimaciones son válidas sólo si se calculan y declaran para todos los elementos del conjunto usando esta metodología de Nivel 1.

EF_i = factor de emisión del gas CF i expresado como masa anual de emisiones por metro cuadrado de área de la superficie de sustrato para la clase de producto, (masa del gas i)/ m^2

C_u = fracción de la utilización de la capacidad anual de producción de la planta, fracción

C_d = capacidad anual de diseño de fabricación, Gm^2 de sustrato procesado, excepto para la fabricación de PV, que se expresa en Mm^2

C_{PV} = fracción de PV fabricada que emplea CF, fracción

$\delta = 1$ cuando la Ecuación 6.1 se aplica a la industria de PV y cero cuando la Ecuación 6.1 se aplica, ya sea a la industria de los semiconductores o a la de TFT-FPD, adimensional

Este método no da cuenta de las diferencias entre tipos de procesos (decapado versus limpieza), procesos individuales o herramientas. Tampoco da cuenta del empleo posible de dispositivos atmosféricos de control de las emisiones.

Al usar el Nivel 1, los compiladores del inventario no deben modificar de ninguna manera el conjunto de los CF supuestos en el Cuadro 6.2. No deben combinar las emisiones estimadas mediante el método de Nivel 1 con las emisiones estimadas mediante los métodos de Nivel 2 ó 3. Tampoco pueden utilizar, por ejemplo, el factor de Nivel 1 del CF_4 para estimar las emisiones de CF_4 en los semiconductores y combinarlo con los resultados de otros gases CF obtenidos mediante un método de Nivel 2 o 3. (Véase la Sección 6.2.2.1.)

MÉTODO DE NIVEL 2a – PARÁMETROS DE PROCESO ESPECÍFICOS DE LOS GASES

Este método permite calcular las emisiones para cada CF utilizado sobre la base de datos específicos de las compañías sobre el consumo de gas y sobre las tecnologías de control de las emisiones. En él se emplean valores por defecto válidos para toda la industria en relación con el «resto» o fracción del gas comprado que permanece en los contenedores de transporte después del uso (h), la fracción del gas «utilizado» (destruido o transformado) en el proceso de fabricación de semiconductores o TFT-FPD y la fracción de gas convertido en CF_4 o C_2F_6 durante el proceso. Para utilizar el método de Nivel 2a, los compiladores del inventario deben tener una comunicación directa con la industria (p. ej., declaraciones anuales de emisiones) con el fin de reunir los datos y garantizar que las tecnologías de control estén instaladas y en funcionamiento.

Las emisiones totales equivalen a la suma de las emisiones del gas FC_i empleado en el proceso de producción más las emisiones de productos derivados CF_4 , C_2F_6 , CHF_3 y C_3F_8 que resultan del uso del gas FC_i , como se indica en las ecuaciones 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, y 6.6. A diferencia de los métodos de Nivel 3 y 2b que se explican más adelante en esta sección, el método de Nivel 2a no distingue entre los diferentes procesos o tipos de procesos (decapado versus limpieza), procesos individuales o herramientas. Los factores de emisión por defecto corresponden a promedios ponderados (sobre la base de ponderaciones especificadas por dictamen de expertos), determinados separadamente para cada gas y para *todos* los procesos, *tanto* de decapado *como* de CVD.

Como se discute más abajo, en la sección que trata de los factores de emisión, el método de Nivel 2a utiliza el factor de emisión para el tipo de proceso (CVD o decapado) en el cual el CF individual se utiliza más frecuentemente en un sector electrónico en particular. Este método refleja una tendencia actual en la cual ciertos CF individuales predominan cada vez más en ciertos tipos de procesos (CVD o decapado) a través de cada industria. Sin embargo, en los países donde hay compañías o plantas que se apartan mucho de los patrones de uso más comunes de la industria (p. ej., al usar un gas principalmente en el decapado, mientras que otras industrias lo usan principalmente en el CVD), los compiladores del inventario deben evaluar el potencial de introducción de errores al utilizar el método de Nivel 2a en vez del método de Nivel 2b.

ECUACIÓN 6.2
MÉTODO DE NIVEL 2a PARA ESTIMAR LAS EMISIONES DE CF

$$E_i = (1 - h) \cdot FC_i \cdot (1 - U_i) \cdot (1 - a_i \cdot d_i)$$

Donde:

E_i = emisiones del gas i , kg.

FC_i = consumo de gas i , (p. ej., CF_4 , C_2F_6 , C_3F_8 , $c-C_4F_8$, $c-C_4F_8O$, C_4F_6 , C_3F_8 , CHF_3 , CH_2F_2 , NF_3 , SF_6), kg.

h = fracción del gas que permanece en el contenedor de transporte (resto) después del uso, fracción

U_i = tasa de uso del gas i (fracción destruida o transformada en el proceso), fracción

a_i = fracción volumétrica del gas i utilizada en procesos con tecnologías de control de emisiones (específico de la compañía o de la planta), fracción

d_i = fracción del gas i destruido por la tecnología de control de emisiones, fracción

ECUACIÓN 6.3
EMISIONES DE PRODUCTO DERIVADO CF_4

$$BPE_{CF_4,i} = (1 - h) \cdot B_{CF_4,i} \cdot FC_i \cdot (1 - a_i \cdot d_{CF_4})$$

Donde:

$BPE_{CF_4,i}$ = emisiones de producto derivado CF_4 generadas por el gas i utilizado, kg.

$B_{CF_4,i}$ = factor de emisión, kg. de CF_4 creado/kg. de gas i utilizado

d_{CF_4} = fracción producto derivado CF_4 destruido por la tecnología de control de emisiones, fracción

ECUACIÓN 6.4
EMISIONES DE PRODUCTO DERIVADO C_2F_6

$$BPE_{C_2F_6,i} = (1 - h) \cdot B_{C_2F_6,i} \cdot FC_i \cdot (1 - a_i \cdot d_{C_2F_6})$$

Donde:

$BPE_{C_2F_6,i}$ = emisiones de producto derivado C_2F_6 generadas por el gas i utilizado, kg.

$B_{C_2F_6,i}$ = factor de emisión, kg. de C_2F_6 creado/kg. de gas i utilizado

$d_{C_2F_6}$ = fracción de producto derivado C_2F_6 destruido por la tecnología de control de emisiones, fracción

ECUACIÓN 6.5
EMISIONES DE PRODUCTO DERIVADO CHF_3

$$BPE_{CHF_3,i} = (1 - h) \cdot B_{CHF_3,i} \cdot FC_i \cdot (1 - a_i \cdot d_{CHF_3})$$

Donde:

$BPE_{CHF_3,i}$ = emisiones de producto derivado CHF_3 generadas por el gas i utilizado, kg.

$B_{CHF_3,i}$ = factor de emisión, kg. de CHF_3 creado/Kg. de gas i utilizado

d_{CHF_3} = fracción producto derivado CHF_3 destruido por la tecnología de control de emisiones, fracción

ECUACIÓN 6.6**EMISIONES DE PRODUCTO DERIVADO C₃F₈**

$$BPE_{C_3F_8,i} = (1-h) \cdot B_{C_3F_8,i} \cdot FC_i \cdot (1-a_i \cdot d_{C_3F_8})$$

Donde:

$BPE_{C_3F_8,i}$ = emisiones de producto derivado C₃F₈ generadas por el gas *i* utilizado, kg.

$B_{C_3F_8,i}$ = factor de emisión, Kg. de C₃F₈ creado/kg. de gas *i* utilizado

$d_{C_3F_8}$ = fracción producto derivado C₃F₈ destruido por la tecnología de control de emisiones, fracción

Después de estimar las emisiones del gas *i* (E_i) y las de los productos derivados CF₄, C₂F₆, CHF₃ y C₃F₈ para cada gas ($BPE_{CF_4,i}$, $BPE_{C_2F_6,i}$, $BPE_{CHF_3,i}$ y $BPE_{C_3F_8,i}$), los compiladores del inventario o las compañías deben sumar estas emisiones para todos los gases y estimar el total agregado de emisiones de CF.

MÉTODO DE NIVEL 2b – PARÁMETROS ESPECÍFICOS DEL TIPO DE PROCESO

El método de Nivel 2b requiere datos sobre las cantidades agregadas de cada gas suministrado en todos los procesos de decapado y en todos los procesos de limpieza ($FC_{i,p}$). Por lo tanto, este método distingue sólo entre tipos amplios de proceso (decapado versus limpieza de cámaras por CVD), pero no distingue entre los muchos procesos individuales posibles ni entre conjuntos pequeños de procesos. Los valores por defecto comunes a toda la industria pueden emplearse para todas o para cualquiera de las cantidades siguientes:

- la fracción del gas que permanece en el contenedor de transporte después del uso denominado «resto» (*h*);
- la fracción del gas «utilizado» (destruido o transformado) por tipo de proceso ($U_{i,p}$);
- el factor de emisión para las emisiones de producto derivado CF₄ en el tipo de proceso ($B_{CF_4,i,p}$);
- el factor de emisión para las emisiones de producto derivado C₂F₆ en el tipo de proceso ($B_{C_2F_6,i,p}$);
- el factor de emisión para las emisiones de producto derivado CHF₃ en el tipo de proceso ($B_{CHF_3,i,p}$);
- y el factor de emisión para las emisiones de producto derivado C₃F₈ en el tipo de proceso ($B_{C_3F_8,i,p}$).

Se presentan también (véase Cuadro 6.6) valores por defecto para la fracción del gas destruido por la tecnología de control de emisiones por tipo de proceso ($d_{i,p}$, $d_{CF_4,p}$, $d_{C_2F_6,p}$, $d_{CHF_3,p}$ y $d_{C_3F_8,p}$). El valor por defecto para $a_{i,p}$ es cero, la fracción volumétrica de gas suministrado al proceso con tecnología de control de emisiones, a menos que estas tecnologías estén instaladas. Los valores por defecto para $U_{i,p}$, $B_{CF_4,i,p}$, $B_{C_2F_6,i,p}$, $B_{CHF_3,i,p}$ y $B_{C_3F_8,i,p}$ representan promedios simples no ponderados, determinados separadamente para cada gas, sobre *todos* los procesos de decapado y sobre *todos* los procesos CVD. Los factores de emisión específicos de la compañía o de la planta pueden sustituirse por los valores por defecto cuando estén disponibles. Las ecuaciones dan cuenta del uso de dispositivos de control de emisiones específicos de las plantas, pero no toman en cuenta las diferencias entre procesos o herramientas individuales ni entre las plantas de fabricación respecto de las diferentes combinaciones de procesos y herramientas. Por lo tanto, las estimaciones hechas con el método de Nivel 2b serán menos exactas que las obtenidas con el de Nivel 3. Asimismo, nótese que el método de Nivel 2b es aplicable a la fabricación de semiconductores y de TFT-FPD.

Las emisiones que resultan del uso de un CF específico (FC_i) consisten en emisiones del FC_i en sí mismo, *más* las emisiones de los compuestos CF₄, C₂F₆, CHF₃ y C₃F₈ creados como productos derivados durante el uso de FC_i . Para cada gas y para cada tipo de proceso, debe repetirse el siguiente cálculo:

ECUACIÓN 6.7**MÉTODO DE NIVEL 2b PARA ESTIMAR LAS EMISIONES DE CF**

$$E_i = (1-h) \cdot \sum_p \left[FC_{i,p} \cdot (1-U_{i,p}) \cdot (1-a_{i,p} \cdot d_{i,p}) \right]$$

Donde:

E_i = emisiones del gas *i*, kg.

p = tipo de proceso (decapado versus limpieza de cámaras por CVD)

$FC_{i,p}$ = masa del gas i suministrado al proceso p (p. ej., CF_4 , C_2F_6 , C_3F_8 , $c-C_4F_8$, $c-C_4F_8O$, C_4F_6 , C_5F_8 , CHF_3 , CH_2F_2 , NF_3 , SF_6), kg.

h = fracción del gas que permanece en el contenedor de transporte (resto) después del uso, fracción

$U_{i,p}$ = tasa de uso para cada gas i y tipo de proceso p (fracción destruida o transformada en el proceso), fracción

$a_{i,p}$ = fracción volumétrica del gas i suministrado al proceso p con tecnologías de control de emisiones (específico de la compañía o de la planta), fracción

$d_{i,p}$ = fracción del gas i destruido por la tecnología de control de emisiones empleada en el proceso p (si se emplea más de una tecnología de control de emisiones en el proceso p , este valor será el promedio ponderado de la fracción destruida por esas tecnologías de control de emisiones, donde cada fracción es ponderada por la cantidad de gas suministrado a las herramientas que emplean esa tecnología), fracción

ECUACIÓN 6.8
EMISIONES DE PRODUCTO DERIVADO CF_4

$$BPE_{CF_4,i} = (1-h) \cdot \sum_p \left[B_{CF_4,i,p} \cdot FC_{i,p} \cdot (1-a_{i,p} \cdot d_{CF_4,p}) \right]$$

Donde:

$BPE_{CF_4,i}$ = emisiones de producto derivado CF_4 convertido a partir del gas i utilizado, kg.

$B_{CF_4,i,p}$ = factor de emisión para las emisiones del producto derivado CF_4 convertido a partir del gas i en el tipo de proceso p , kg. de CF_4 creado/kg. de gas i utilizado

$d_{CF_4,p}$ = fracción de producto derivado CF_4 destruido por la tecnología de control de emisiones empleada en el tipo de proceso p (p. ej., una de las tecnologías de control enumeradas en el Cuadro 6.6), fracción

ECUACIÓN 6.9
EMISIONES DE PRODUCTO DERIVADO C_2F_6

$$BPE_{C_2F_6,i} = (1-h) \cdot \sum_p \left[B_{C_2F_6,i,p} \cdot FC_{i,p} \cdot (1-a_{i,p} \cdot d_{C_2F_6,p}) \right]$$

Donde:

$BPE_{C_2F_6,i}$ = emisiones de producto derivado C_2F_6 convertido a partir del gas i utilizado, kg.

$B_{C_2F_6,i,p}$ = factor de emisión para el producto derivado C_2F_6 convertido a partir del gas i en el tipo de proceso p , kg. de C_2F_6 creado/kg. de gas i utilizado

$d_{C_2F_6,p}$ = fracción de producto derivado C_2F_6 destruido por la tecnología de control de emisiones empleada en el tipo de proceso p (p. ej., una de las tecnologías de control enumeradas en el Cuadro 6.6), fracción

ECUACIÓN 6.10
EMISIONES DE PRODUCTO DERIVADO CHF_3

$$BPE_{CHF_3,i} = (1-h) \cdot \sum_p \left[B_{CHF_3,i,p} \cdot FC_{i,p} \cdot (1-a_{i,p} \cdot d_{CHF_3,p}) \right]$$

Donde:

$BPE_{CHF_3,i}$ = emisiones de producto derivado CHF_3 convertido a partir del gas i utilizado, kg.

$B_{CHF_3,i,p}$ = factor de emisión para el producto derivado CHF_3 convertido a partir del gas i en el tipo de proceso p , kg. de CHF_3 creado/kg. de gas i utilizado

$d_{\text{CHF}_3,p}$ = fracción de producto derivado CHF_3 destruido por la tecnología de control de emisiones empleada en el tipo de proceso p (p. ej., una de las tecnologías de control enumeradas en el Cuadro 6.6), fracción

ECUACIÓN 6.11
EMISIONES DE PRODUCTO DERIVADO C_3F_8

$$BPE_{\text{C}_3\text{F}_8,i} = (1-h) \cdot \sum_p \left[B_{\text{C}_3\text{F}_8,i,p} \cdot FC_{i,p} \cdot (1 - a_{i,p} \cdot d_{\text{C}_3\text{F}_8,p}) \right]$$

Donde:

$BPE_{\text{C}_3\text{F}_8,i}$ = emisiones de producto derivado C_3F_8 generadas por el gas i utilizado, kg.

$B_{\text{C}_3\text{F}_8,i,p}$ = factor de emisión para las emisiones del producto derivado C_3F_8 convertido a partir del gas i en el tipo de proceso p , kg. de C_3F_8 creado/kg. de gas i utilizado

$d_{\text{C}_3\text{F}_8,p}$ = fracción de producto derivado C_3F_8 destruido por la tecnología de control de emisiones empleada en el tipo de proceso p (p. ej., una de las tecnologías de control enumeradas en el Cuadro 6.6), fracción

Nótese que en algunos procedimientos de decapado o de limpieza pueden utilizarse múltiples precursores de los CF de manera simultánea y que las emisiones de CF_4 , C_2F_6 , CHF_3 o C_3F_8 como productos derivados pueden originarse a partir de la descomposición de cada precursor individual de CF. En tales casos, las emisiones de los productos derivados CF_4 , C_2F_6 , CHF_3 o C_3F_8 deben declararse como procedentes del gas CF que presente el flujo de masa más elevado.

MÉTODO DE NIVEL 3 – PARÁMETROS ESPECÍFICOS DEL PROCESO

El método de Nivel 3 utiliza también las Ecuaciones 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 y 6.11. Sin embargo, este método requiere de valores específicos de las compañías o específicos de las plantas para todos los parámetros utilizados en estas ecuaciones, para cada proceso individual o para cada pequeño conjunto de procesos (p. ej., decapado del nitruro de silicio o limpieza de las cámaras de las herramientas de depósito químico por fase vapor estimulado por plasma (PECVD, del inglés, *plasma enhanced chemical vapour deposition*). Por lo tanto, al usar las Ecuaciones 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 y 6.11, los compiladores del inventario habrán de interpretar el índice «p» de estas ecuaciones, como un «Proceso» específico (p. ej., decapado del nitruro de silicio o limpieza de las cámaras de las herramientas de PECVD) y no como un «Tipo de proceso».

Para los efectos de la transparencia y la comparación, deberán documentar bien los valores utilizados para estos parámetros de emisiones (véase la Sección 6.2.2).

Formación de CF_4 a partir de películas que contienen C, durante la fabricación de semiconductores

Los métodos de Nivel 2a, Nivel 2b y Nivel 3 dan cuenta de las emisiones del CF_4 que se forma durante la eliminación por decapado de los materiales de baja constante dieléctrica (k) que contienen carbono o de la limpieza de reactores CVD que contienen películas de bajo-k o carburo, durante la fabricación de semiconductores. El CF_4 puede formarse aun si el precursor de los CF no contiene carbono o si no es un gas de efecto invernadero.

Por ejemplo, la limpieza de los reactores de CVD de bajo-k con NF_3 genera CF_4 como producto derivado. En estos casos, debe emplearse la Ecuación 6.7 para declarar las emisiones de NF_3 y debe usarse el resultado de la Ecuación 6.8 para reflejar las emisiones de CF_4 del proceso. Allí, también se puede formar CF_4 cuando se emplea F_2 , COF_2 , o ClF_3 para la limpieza de las cámaras. En este caso, las emisiones de CF_4 se estiman mediante la Ecuación 6.8 y el resultado se suma al total de las emisiones de CF_4 obtenido mediante la Ecuación 6.7. En ambos casos, debe medirse $B_{\text{CF}_4,i,p}$ como la fracción de la masa de CF_4 producido, respecto de la masa del gas limpio o de gas de decapado que se introduce en el reactor.

Luego de estimar las emisiones para cada gas CF y las emisiones de los productos derivados CF_4 , C_2F_6 , CHF_3 y C_3F_8 , los compiladores del inventario o las compañías deben sumar estas emisiones sobre todos los gases para lograr una estimación de la agregación de emisiones de los CF a partir de un proceso en particular

RECUADRO 6.1
EJEMPLO PARA LA FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES

Por ejemplo, si una fuente utiliza NF_3 (para la limpieza de cámaras y para el decapado), CHF_3 (decapado) y CF_4 (decapado), si se han usado películas de bajo-k, el total de las emisiones se estima mediante la Ecuación 6.7 para el NF_3 , el CHF_3 y el CF_4 y la Ecuación 6.8 para la formación de CF_4 , cuando las películas de bajo-k se eliminan con NF_3 . En forma de ecuación, el total es:

$$\text{Total de las emisiones de los CF} = E_{\text{NF}_3} + E_{\text{CHF}_3} + E_{\text{CF}_4} + \text{BPE}_{\text{CF}_4, \text{NF}_3}$$

6.2.1.2 FLUIDOS DE TRANSFERENCIA TÉRMICA

Existen dos métodos para estimar las emisiones derivadas del uso de los fluidos de transferencia térmica. La elección de los métodos depende de la disponibilidad de los datos de la actividad respecto del uso de los fluidos de transferencia térmica lo cual se plantea en el árbol de decisión (véase la Figura 6.2, Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de los CF generadas por los fluidos de transferencia térmica, y véase la Sección 1.5 del Capítulo 1, Opción entre el método del equilibrio de masas y el de los factores de emisión).

MÉTODO DE NIVEL 1 – FLUIDOS DE TRANSFERENCIA TÉRMICA

El Nivel 1 es apropiado cuando no se dispone de datos específicos de las compañías sobre los fluidos de transferencia térmica. Es el menos exacto de los dos métodos para estimar las emisiones derivadas de las pérdidas de fluidos de transferencia térmica. A diferencia del método de Nivel 2, este método proporciona una estimación de emisiones agregadas —una emisión promedio ponderada sobre todos los CF líquidos, que se expresa como la masa de C_6F_{14} ¹⁰. El cálculo se basa en un factor de emisión genérico que expresa el promedio de las emisiones agregadas por unidad de silicio consumido durante la fabricación de semiconductores. La fórmula se muestra en la Ecuación 6.12.

ECUACIÓN 6.12
MÉTODO DE NIVEL 1 PARA ESTIMAR EL TOTAL DE EMISIONES DE LOS CF GENERADAS POR LOS FLUIDOS DE TRANSFERENCIA TÉRMICA

$$FC_{\text{líquido, total}} = EF_l \cdot C_u \cdot C_d$$

Donde:

$FC_{\text{líquido, total}}$ = total de emisiones de los CF expresadas en términos de la masa de C_6F_{14} , Mt de C_6F_{14}

EF_l = factor de emisión (emisiones agregadas de los CF por Gm^2 de silicio consumido durante el periodo expresado en términos de la masa de C_6F_{14} (Véase el Cuadro 6.2.)), Mt de $\text{C}_6\text{F}_{14}/\text{Gm}^2$

C_u = promedio de la utilización de la capacidad para todas las instalaciones de fabricación de semiconductores del país durante el periodo, fracción

C_d = capacidad de diseño de las instalaciones de fabricación de semiconductores del país, Gm^2

MÉTODO DE NIVEL 2 – FLUIDOS DE TRANSFERENCIA TÉRMICA

Existe un solo método de Nivel 2 para estimar las emisiones efectivas derivadas del uso de cada fluido CF. Se trata de un método de equilibrio de masas que da cuenta de la utilización de los CF líquidos durante un periodo anual. Es el apropiado cuando se dispone de datos específicos de las compañías. Los CF líquidos se emplean a lo largo del año para llenar los equipos recientemente adquiridos y para reemplazar las pérdidas por evaporación de fluido de los equipos en funcionamiento. El método de Nivel 2 desestima las pérdidas de fluido que se producen durante el llenado de equipos nuevos o existentes, o cuando se realiza el desmantelamiento de equipos viejos (lo cual es razonable para estos fluidos caros).¹¹ Los compiladores del inventario deben obtener de las compañías la

¹⁰ En ausencia de estimaciones del PCA, se ha utilizado como sustituto el PCA del C_6F_{14} (para derivar el factor de emisión por defecto). (Véase el inventario *Inventory of U.S. Greenhouse Gas and Sinks: 1990-2003*, la nota al pie de página del Cuadro 4-58, Página 166. (U.S. EPA, 2005))

¹¹ Los precios de los fluidos de transferencia térmica varían entre 55 y 130 USD/litro. 3M, conocido fabricante de fluidos de transferencia térmica, estima que una planta de fabricación de la generación del año 2000, puede perder 1 900 litros/año a través de la evaporación. Los fabricantes de equipos de ensayo que usan fluidos de transferencia térmica declaran índices

composición química de los fluidos cuyas emisiones se estén estimando. El método se expresa en la Ecuación 6.13.

ECUACIÓN 6.13
MÉTODO DE NIVEL 2 PARA ESTIMAR LAS EMISIONES DE LOS CF GENERADAS POR LOS FLUIDOS DE TRANSFERENCIA TÉRMICA

$$FC_i = \rho_i \cdot [I_{i,t-1}(l) + P_{i,t}(l) - N_{i,t}(l) + R_{i,t}(l) - I_{i,t}(l) - D_{i,t}(l)]$$

Donde:

FC_i = emisiones de FC_i , kg.

ρ_i = densidad del líquido FC_i , kg./litro

$I_{i,t-1}(l)$ = existencia en inventario del líquido FC_i al término del periodo anterior, litros

$P_{i,t}(l)$ = compras netas del líquido FC_i durante el periodo (neto de compras y de toda devolución), litros

$N_{i,t}(l)$ = carga total (o capacidad nominal) de las instalaciones nuevas de equipos, litros

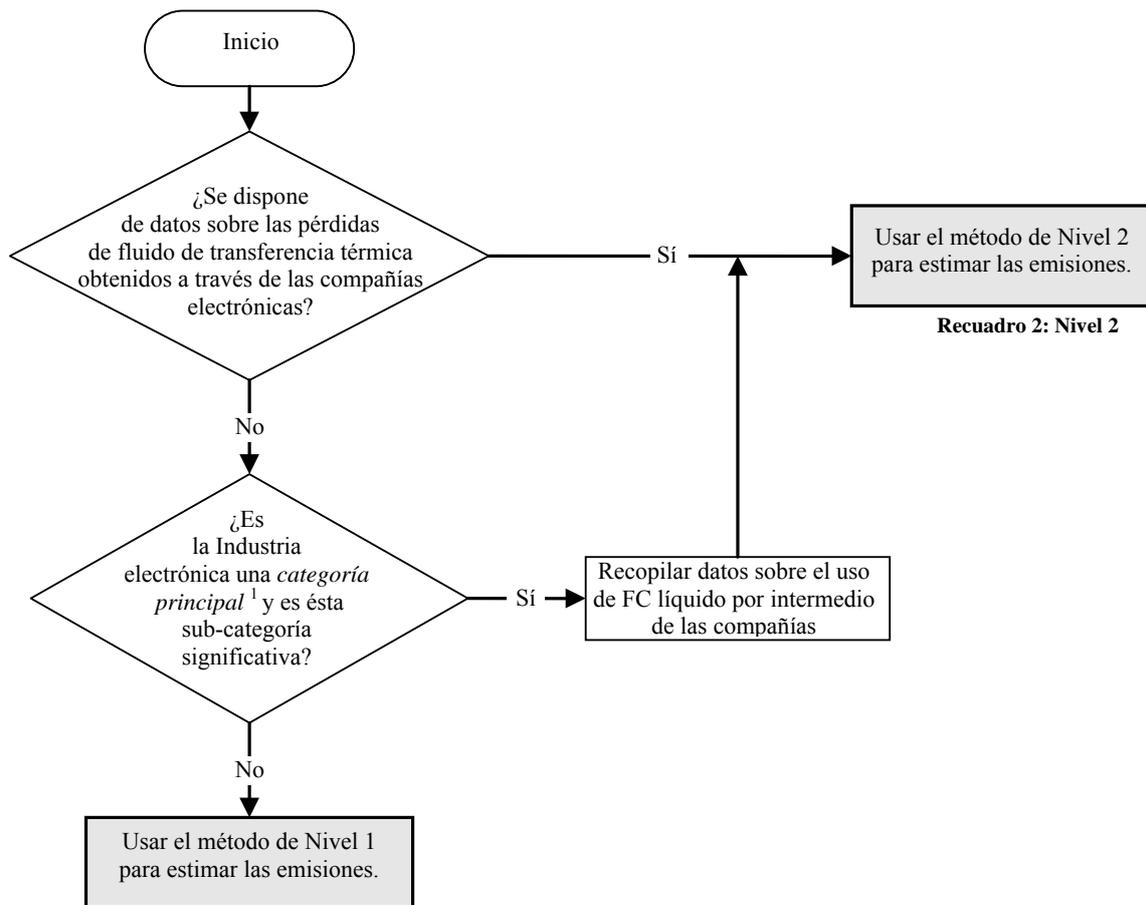
$N_{i,t}(l)$ = carga total (o capacidad nominal) de los equipos retirados o vendidos, litros

$I_{i,t}(l)$ = existencia en inventario del líquido FC_i al término del periodo, litros

$D_{i,t}(l)$ = cantidad de FC_i recuperada y enviada fuera del sitio, proveniente de los equipos retirados durante el periodo, litros

de pérdida de aproximadamente 30 litros/año/sistema para los diseños más nuevos que reducen las pérdidas por evaporación y de 50 litros/año/sistema para los diseños más viejos.

Figura 6.2 **Árbol de decisión para la estimación de las emisiones de los CF generadas por las pérdidas de fluidos de transferencia térmica en la fabricación de productos electrónicos.**



Nota **Recuadro 1: Nivel 1**
 1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

6.2.2 Elección de los factores de emisión¹²

6.2.2.1 DECAPADO Y LIMPIEZA POR CVD DE SEMICONDUCTORES, PANTALLAS DE CRISTAL LÍQUIDO Y DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS.

NIVEL 1

Los factores de emisión por defecto para el método de Nivel 1 se presentan más abajo, en el Cuadro 6.2.

Al usar el Nivel 1, no es una buena práctica modificar, de ninguna manera, el conjunto de los CF ni los valores de los factores de emisión supuestos en el Cuadro 6.2. Los compiladores del inventario no deben combinar las emisiones estimadas mediante el método de Nivel 1 con las emisiones estimadas mediante los métodos de Nivel 2 ó 3. Por ejemplo, los compiladores no deben utilizar el factor de Nivel 1 del CF₄ para estimar las emisiones de CF₄ en los semiconductores y combinarlo con los resultados para otros gases CF obtenidos mediante un método de Nivel 2 o 3. Nótese también, que los factores de emisión de los CF de Nivel 1 presentados en el Cuadro 6.2 no deben utilizarse para ningún otro propósito que el de estimar las emisiones de los CF agregadas anuales provenientes de la fabricación de semiconductores, de TFT-FPD y de PV, y destinadas a la compilación del inventario nacional de gases de efecto invernadero.

¹² Las fuentes y los métodos para desarrollar los factores de emisión, si no se proporcionan explícitamente en el Capítulo 6, pueden consultarse en Burton (2006).

CUADRO 6.2 FACTORES DE EMISIÓN DE NIVEL 1 ESPECÍFICOS DE LOS GASES PARA LAS EMISIONES DE CF GENERADAS POR LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS ELECTRÓNICOS.							
Sector de la industria electrónica	Factor de emisión (EF) (masa por unidad de área del sustrato procesado)						
	CF ₄	C ₂ F ₆	CHF ₃	C ₃ F ₈	NF ₃	SF ₆	C ₆ F ₁₄
Semiconductores, kg./m ²	0,9	1,0	0,04	0,05	0,04	0,2	NA
TFT-FPD, g/m ²	0,5	NA	NA	NA	0,9	4,0	NA
células PV ^a , g/m ²	5	0,2	NA	NA	NA	NA	NA
Fluidos de transferencia térmica ^b , Kg./m ²	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,3

^a EF adaptados de un trabajo no publicado de Fthenakis, Alsema y Agostinelli. (Fthenakis ,2005) Nótese que el factor es aplicable sólo a las tecnologías específicas del silicio y que se aplica a la reducción de las emisiones.

^b EF supone que los fluidos de transferencia térmica tienen el mismo PCA y que el C₆F₁₄ representa un sustituto adecuado. El origen de este factor se describe en Burton, 2004, y se basa parcialmente en el trabajo de Tuma y Tousignant (2001).

NIVEL 2

Como se analizó más arriba, los factores de emisión basados en variables simples de la producción electrónica no son adecuados para dar cuenta de todos los factores que influyen en las emisiones. Para preparar una estimación fiable se necesitan datos sobre los siguientes parámetros:

- Los gases utilizados;
- El tipo de proceso utilizado (CVD o decapado);
- La marca de la herramienta de proceso utilizada;
- La tecnología de reducción de las emisiones.

Los valores por defecto se han desarrollado para los parámetros utilizados en los métodos de Nivel 2a y 2b (véase la Figura 6.1) sobre la base de mediciones directas, de la bibliografía y del dictamen de expertos (véanse los Cuadros 6.3, 6.4 y 6.5, Factores de emisión por defecto de Nivel 2 para las emisiones de los CF generadas por la fabricación de semiconductores¹², de TFT-FPD¹³ y PV¹², respectivamente. Dada la dificultad de representar las diversas condiciones de producción dentro de la industria electrónica, los parámetros de emisión por defecto son inherentemente inciertos. Si bien la exactitud puede mejorarse mediante conjuntos más grandes de datos de mediciones y donde los factores se aplican a procesos similares utilizando procedimientos químicos similares o idénticos, el desarrollo de los factores por defecto implica necesariamente alguna forma de promedio de todos los datos.

Los especialistas de la industria electrónica esperan que el aporte de las innovaciones técnicas rápidas por parte de los proveedores de productos químicos y de equipos, así como de los fabricantes de productos electrónicos resulte en una reducción mayor de las emisiones en el futuro (vale decir, a partir de 2006). Como consecuencia, los factores de emisión para estas categorías deben evolucionar para reflejar estos cambios. Las industrias de semiconductores y de TFT-FPD han establecido mecanismos, a través del *World Semiconductor Council* (Consejo mundial de semiconductores) y del *World LCD Industry Cooperation Committee* (Comité mundial de cooperación de la industria de LCD), respectivamente, para evaluar los factores mundiales de emisión. La industria de PV parece estar considerando el establecimiento de un mecanismo para trazar las emisiones de PFC durante la producción de PV. (Fthenakis, 2006).

El uso de los CF durante la fabricación de PV puede aumentar o no. Las pruebas existentes sugieren que, si aumentara el uso de los CF en esta industria, se harán esfuerzos para controlar sus emisiones (Agostinelli *et al.*, 2004; Rentsch *et al.*, 2005). Los compiladores del inventario pueden consultar periódicamente a la industria para comprender mejor las circunstancias nacionales y mundiales.

Los Cuadros 6.3 y 6.4 incluyen dos entradas para el NF₃: NF₃ Remoto y NF₃. El primero se refiere a un método de limpieza en el cual los agentes de limpieza de las películas formadas de NF₃ (átomos de F) se producen en un flujo de plasma que precede (remoto) a la cámara que se somete a limpieza. El último, llamado simplemente

¹³ Los factores de emisión (EF) para la fabricación de TFT-FPD corresponden a promedios simples (no ponderados) desarrollados a partir de valores específicos de los gases y de los procesos publicados por Nishida *et al.* (2005).

NF₃, se refiere a un proceso de limpieza del NF₃ in situ, análogo al proceso de limpieza para otros gases como el C₂F₆ y el C₃F₈.

El valor por defecto para la fracción de gas que permanece en el contenedor de transporte (el resto) es de 0,10.

CUADRO 6.3														
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO DE NIVEL 2 PARA LAS EMISIONES DE CF GENERADAS POR LA FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES.														
Gas de proceso (i)	Gases de efecto invernadero con PCA del TIE									Gases de efecto invernadero sin PCA del TIE			Productos derivados CF que no producen GEI	
	CF ₄	C ₂ F ₆	CHF ₃	CH ₂ F ₂	C ₃ F ₈	c-C ₄ F ₈	NF ₃ Remoto	NF ₃	SF ₆	C ₄ F ₆	C ₅ F ₈	C ₄ F ₈ O	F ₂	COF ₂
Nivel 2a														
1-Ui	0,9	0,6	0,4	0,1	0,4	0,1	0,02	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	NA	NA
B_{CF4}	NA	0,2	0,07	0,08	0,1	0,1	0,02 [‡]	0,09	NA	0,3	0,1	0,1	0,02 [‡]	0,02 [‡]
B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	0,1	NA	NA	NA	0,2	0,04	NA	NA	NA
B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,04	NA	NA
Nivel 2b														
Decapado 1-Ui	0,7*	0,4*	0,4*	0,06*	NA	0,2*	NA	0,2	0,2	0,1	0,2	NA	NA	NA
CVD 1-Ui	0,9	0,6	NA	NA	0,4	0,1	0,02	0,2	NA	NA	0,1	0,1	NA	NA
Decapado B_{CF4}	NA	0,4*	0,07*	0,08*	NA	0,2	NA	NA	NA	0,3*	0,2	NA	NA	NA
Decapado B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	0,2	NA	NA	NA	0,2*	0,2	NA	NA	NA
CVD B_{CF4}	NA	0,1	NA	NA	0,1	0,1	0,02 [‡]	0,1 [†]	NA	NA	0,1	0,1	0,02 [‡]	0,02 [‡]
CVD B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,04	NA	NA
Notas: NA significa que, según la información disponible actualmente, no se aplica al caso.														
[‡] Los factores de emisión por defecto para el F ₂ y el COF ₂ pueden aplicarse a la limpieza de reactores CVD de bajo-k con CIF ₃ .														
* La estimación incluye los procesos de decapado con gases múltiples														
[†] La estimación refleja la presencia de procesos de decapado de bajo-k, carburo y gases múltiples que pueden contener un aditivo de CF que contiene C.														

CUADRO 6.4														
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO DE NIVEL 2 PARA LAS EMISIONES DE CF GENERADAS POR LA FABRICACIÓN DE LCD.														
Gas de proceso (i)	Gases de efecto invernadero con PCA del TIE									Gases de efecto invernadero sin PCA del TIE			Productos derivados CF que no producen GEI	
	CF₄	C₂F₆	CHF₃	CH₂F₂	C₃F₈	c-C₄F₈	NF₃ Remoto	NF₃	SF₆	C₄F₆	C₅F₈	C₄F₈O	F₂	COF₂
Nivel 2a														
1-Ui	0,6	NA	0,2	NA	NA	0,1	0,03	0,3	0,6	NA	NA	NA	NA	NA
B_{CF4}	NA	NA	0,07	NA	NA	0,009	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{CHF3}	NA	NA	NA	NA	NA	0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{C2F6}	NA	NA	0,05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Nivel 2b														
Decapado 1-Ui	0,6	NA	0,2	NA	NA	0,1	NA	NA	0,3	NA	NA	NA	NA	NA
CVD 1-Ui	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,03	0,3	0,9	NA	NA	NA	NA	NA
Decapado B_{CF4}	NA	NA	0,07	NA	NA	0,009	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Decapado B_{CHF3}	NA	NA	NA	NA	NA	0,02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Decapado B_{C2F6}	NA	NA	0,05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{CF4}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Notas: NA significa que, según la información disponible actualmente, no se aplica al caso.

CUADRO 6.5														
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO DE NIVEL 2 PARA LAS EMISIONES DE CF GENERADAS POR LA FABRICACIÓN DE PV.														
Gas de proceso (i)	Gases de efecto invernadero con PCA del TIE									Gases de efecto invernadero sin PCA del TIE			Productos derivados CF que no producen GEI	
	CF₄	C₂F₆	CHF₃	CH₂F₂	C₃F₈	c-C₄F₈	NF₃ Remoto	NF₃	SF₆	C₄F₆	C₅F₈	C₄F₈O	F₂	COF₂
Nivel 2a														
1-Ui	0,7	0,6	0,4	NA	0,4	0,2	NA	0,2	0,4	NA	NA	NA	NA	NA
B_{CF4}	NA	0,2	NA	NA	0,2	0,1	NA	0,05	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	0,1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Nivel 2b														
Decapado 1-Ui	0,7	0,4	0,4	NA	NA	0,2	NA	NA	0,4	NA	NA	NA	NA	NA
CVD 1-Ui	NA	0,6	NA	NA	0,1	0,1	NA	0,3	0,4	NA	NA	NA	NA	NA
Decapado B_{CF4}	NA	0,2	NA	NA	NA	0,1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Decapado B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	0,1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{CF4}	NA	0,2	NA	NA	0,2	0,1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Notas: NA significa que, según la información disponible actualmente, no se aplica al caso.														

CUADRO 6.6							
PARÁMETROS DE EFICIENCIA POR DEFECTO DE NIVEL 2a y 2b PARA LAS TECNOLOGÍAS DE REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE LOS CF EN LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA							
Tecnología de control de las emisiones	CF ₄	C ₂ F ₆	CHF ₃	C ₃ F ₈	c-C ₄ F ₈	NF ₃ ^f	SF ₆
Destrucción^c	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,95	0,9
Captura/recuperación^d	0,75	0,9	0,9	NE	NE	NE	0,9

^a Los valores corresponden a promedios simples (no ponderados) de las eficiencias de destrucción para todas las tecnologías de reducción. Estos factores de emisión no se aplican a las tecnologías de control de emisiones que no pueden reducir el CF₄ con una eficiencia de destrucción o de eliminación (DRE) ≥ 85 por ciento, cuando el CF₄ está presente como gas de entrada o como producto derivado y cuando todos los otros gases CF tienen un DRE ≥ 90 por ciento. Si los fabricantes emplean cualquier otro tipo de tecnología de control de las emisiones, su eficiencia de destrucción es de 0 por ciento cuando se utilizan los métodos de Nivel 2.

^b Los factores de las tecnologías de control de las emisiones de Nivel 2 son aplicables sólo a los dispositivos catalíticos, por plasma, calentados eléctricamente y los que queman combustibles y que

- estén diseñados específicamente para reducir los CF; que
- se utilicen dentro de los límites del proceso especificados por el fabricante y de conformidad con las programaciones especificadas de mantenimiento; y que
- hayan sido sometidos a mediciones y hayan sido confirmados bajo las condiciones efectivas del proceso, utilizando un protocolo válido que dé cuenta de los errores conocidos de medición, incluidos, por ejemplo, la formación de producto derivado CF₄ durante el C₂F₆, así como el efecto de la dilución, el uso de oxígeno, o ambos, en los sistemas de reducción por combustión.

^c Valores promedio para las tecnologías de reducción por quema de combustible, por plasma y catalíticas

^d Valores promedio para las tecnologías de captura y de recuperación criogénicas y por membrana.

^e Datos del proveedor verificados por los fabricantes de semiconductores. Los factores deben utilizarse sólo cuando una tecnología de control de las emisiones se está utilizando y manteniendo de conformidad con las especificaciones de reducción del fabricante. El empleo del NF₃ en el proceso de decapado es típicamente pequeño comparado con el empleo en el CVD. Generalmente, con el método de Nivel 2b, las emisiones agregadas de NF₃ provenientes del decapado y del CVD no serán mayores que las estimaciones realizadas con los métodos de Nivel 2a o de Nivel 1.

NE = no ensayado.

Factores de emisión de las herramientas de proceso

Los procedimientos para calcular los factores de emisión de las herramientas de proceso son idénticos para los métodos de Nivel 2a y de Nivel 2b. Los factores de emisión de las herramientas de proceso se definen como la cantidad de gas de efecto invernadero emitido, dividida por la cantidad de gas de efecto invernadero usado en el proceso. Los factores de emisión corresponden al término «(1 - U_i)» de las fórmulas de Nivel 2. Por ejemplo, el factor de emisión de 0,9 para el CF₄ (véase el Cuadro 6.3, más arriba, valor del Nivel 2a) significa que el 90 por ciento del CF₄ utilizado en el proceso se emite como CF₄.

También se han calculado los factores de emisión de los productos derivados. El producto derivado más significativo es el CF₄. Si bien se sostiene, en general, que los únicos gases que emiten cantidades significativas de CF₄ como producto derivado son el C₂F₆ y el C₃F₈, los datos proporcionados por los fabricantes de herramientas y por los proveedores de productos químicos indican que el CF₄ se forma también a partir de las mezclas de gases (p. ej., los que contienen CHF₃ o CH₂F₂) y a partir del c-C₄F₈. Como resultado de este análisis, se han calculado los factores de emisión del producto derivado CF₄ para los gases CHF₃, CH₂F₂, C₂F₆, C₃F₈, c-C₄F₈ y C₄F₈O. Por ejemplo, un valor de 0,1 para el C₃F₈ (tomado del Cuadro 6.3, más arriba, valor del Nivel 2a) significa que el 10 por ciento del C₃F₈ utilizado se convierte en CF₄. Sin embargo, el C₂F₆ puede ser emitido también a partir de la descomposición de moléculas como el C₄F₆. Como se ha descrito anteriormente, el CF₄ puede formarse también al decapar o limpiar cámaras donde hay presencia de películas que contienen carbono.

Para calcular los factores de emisión de Nivel 2b de las herramientas de proceso, se han recopilado datos de los equipos de proceso y de los fabricantes de gases. Se los recopiló según el tipo de proceso (ya sea la deposición química en fase vapor (CVD) o el decapado) y también por tipo de gas (p. ej., C₂F₆, CF₄). Los métodos utilizados para conducir los ensayos de las emisiones fueron el de la Espectrometría de masas cuadrupolar (QMS, del inglés, *Quadrupole Mass Spectrometry*) y el de la Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR, del inglés, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*), los mejores métodos conocidos para medir las emisiones de las herramientas de proceso. Para cuantificar los resultados, se utilizaron las normas de calibración (generalmente mezclas al 1 por ciento con equilibrio de N₂). El protocolo de medición y los requisitos de control de calidad respetados están delineados en las directrices indicadas en «*Guidelines for Environmental Characterisation of Semiconductor Equipment*». (Meyers *et al.*, 2001)¹⁴. Los factores de emisión para el Nivel

¹⁴ Estas directrices han sido adoptadas también por los fabricantes de pantallas planas para medir las emisiones de CF durante la fabricación de dispositivos de pantalla plana.

2b (véanse, más arriba, los Cuadros 6.3 y 6.4) corresponden al promedio simple (no ponderado) de los datos recopilados para cada gas para el decapado y para el CVD, redondeados a una cifra significativa.^{12, 16}

Para determinar los factores de emisión de Nivel 2a de las herramientas de proceso, se requiere conocer las cantidades de gas utilizado en un proceso típico de fabricación de semiconductores. Se obtuvieron los factores de emisión de Nivel 2a utilizando las ponderaciones facilitadas por los expertos de la industria, en términos de la proporción de cada gas utilizado en los procesos de decapado y de limpieza. Por ejemplo, los factores de emisión de Nivel 2b para el C_2F_6 (Cuadro 6.3) son de 0,5 (decapado) y de 0,6 (CVD). La distribución del uso del C_2F_6 entre los procesos de decapado y de limpieza de cámaras por CVD durante la fabricación de semiconductores es de 20:80. Al aplicar esta ponderación a los factores de emisión se obtiene un valor de 0,6 para el factor del C_2F_6 de Nivel 2b, aproximado a una cifra significativa. La distribución correspondiente al uso del SF_6 en la fabricación de TFT-FPD es de 50:50, lo cual da un valor de 0,6 para el correspondiente factor de emisión de Nivel 2a (Cuadro 6.4).¹⁵

Para los factores de emisión de Nivel 3, los fabricantes de semiconductores emplean valores específicos de las compañías o de las plantas, en vez de utilizar los valores por defecto como los enumerados más arriba, en el Cuadro 6.1. Para garantizar la calidad de los factores de emisión, deben efectuarse ensayos de emisiones conformes a los métodos acreditados¹⁶. Si un tercer proveedor realiza los ensayos de las emisiones, el fabricante de semiconductores debe asegurarse de que ese tercer proveedor pueda cumplir con todos los requisitos delineados en la Revisión 3.0 de las Directrices para la caracterización medioambiental de los equipos (SIA, 2000). Los fabricantes de semiconductores que empleen los factores de emisión proporcionados por el proveedor de los equipos de herramientas de proceso deben asegurarse que los factores de emisión sean aplicables a sus procesos específicos de fabricación. Los métodos de fabricación que utilicen parámetros de proceso (p. ej., presión, tasa de flujo) que se aparten de las condiciones del proceso nominal, pueden tener factores de emisión diferentes de los proporcionados por el fabricante de las herramientas.

Factores de las tecnologías de control de las emisiones para los métodos de Nivel 2

Las tecnologías de control de las emisiones están desarrollándose rápidamente al ritmo de avance de las tecnologías de fabricación de los productos electrónicos. Los factores de emisión de las tecnologías de control por defecto Cuadro 6.6 están basados en pruebas de los dispositivos de control que han sido optimizados para procesos y herramientas específicos. Se espera que los resultados varíen entre las herramientas y según los índices de flujo. Los factores de emisión no son aplicables a todas las herramientas ni a todos los procesos en las instalaciones de fabricación de semiconductores, pantallas de cristal líquido o dispositivos fotovoltaicos. Los parámetros de eficiencia de destrucción por defecto para el Nivel 2 presentados en el Cuadro 6.6 son aplicables solamente cuando los compiladores del inventario pueden demostrar, mediante una comunicación con los responsables de las instalaciones y a través de la documentación consiguiente, que las tecnologías de control de las emisiones son operadas y mantenidas de conformidad con las especificaciones del fabricante. Si las compañías emplean otro tipo de dispositivos de reducción, para los métodos de Nivel 2a y 2b, deben suponer que la eficiencia de destrucción es 0.

Entre las hipótesis que se aplican a los factores de emisión de los métodos Nivel 2a y 2b para las tecnologías de control de las emisiones, se incluyen:

- (i) Las tecnologías específicas de control de las emisiones no están enumeradas; los factores de emisión para cada producto químico se han establecido sobre la base de los resultados logrados durante los ensayos de las tecnologías de control de las emisiones en las aplicaciones de fabricación de semiconductores;
- (ii) Los factores de emisión deben utilizarse sólo cuando la reducción se aplica a las emisiones que están dentro del intervalo operativo especificado por el fabricante del sistema de reducción para alcanzar o superar los factores enumerados en el Cuadro 6.6;
- (iii) Los factores de emisión se aplican sólo a aquella porción de las emisiones que pasa a través de un dispositivo de control correctamente operado y mantenido; estos factores no deben aplicarse cuando se prescinde del dispositivo de control, éste no opera de conformidad con las especificaciones del fabricante o no se mantiene según las especificaciones;
- (iv) Los factores de emisión no se aplican a las tecnologías de control de las emisiones que no pueden reducir el CF_4 con una eficiencia de destrucción o de eliminación (DRE) ≥ 85 por ciento, cuando el

¹⁵ Las tasas de uso del SF_6 de 50:50 representan un promedio para las regiones líderes de fabricación de TFT-FPD de Japón, República de Corea y Taiwán. Esta proporción ha sido facilitado por Nishida (2006) y Kim (2006).

¹⁶ Un ejemplo de método acreditado internacionalmente es el de Meyers *et al.* (2001).

CF₄ está presente como gas de entrada o como producto derivado y cuando todos los demás gases CF tienen un DRE ≥ 90 por ciento. Si los fabricantes emplean cualquier otro tipo de tecnología de control de las emisiones, cuando se utilizan los métodos de Nivel 2 se supone una eficiencia de destrucción de 0 por ciento.

Los factores de control de las emisiones por defecto de Nivel 2 del Cuadro 6.6, Parámetros de eficiencia por defecto para las tecnologías de reducción de las emisiones de los CF en la industria electrónica, fueron calculados a partir de datos proporcionados por los proveedores de equipos y de tecnologías de reducción y por los fabricantes de dispositivos electrónicos. Nótese que en los cálculos sólo se utilizaron datos sobre dispositivos de reducción específicamente diseñados para reducir los CF. Se recibieron datos sobre dispositivos de reducción por combustión (todos ellos utilizan algún tipo de combustible), dispositivos de reducción por plasma, dispositivos de reducción calentados eléctricamente y dispositivos catalíticos de reducción.

Los valores presentados en el Cuadro 6.6, Parámetros de eficiencia por defecto para las tecnologías de reducción de las emisiones de los CF en la industria electrónica, son el resultado de los datos recibidos relacionados con tecnologías optimizadas y con cada gas de entrada, y fueron redondeados al 5 por ciento próximo inferior (p. ej., un porcentaje promedio de 98 por ciento fue redondeado hacia abajo, a un valor de 0,95). Los promedios fueron redondeados hacia un valor inferior para reflejar que: (i) los dispositivos de control de las emisiones tienen una eficacia variable según cuál sea el gas para el cual se ha optimizado la destrucción y (ii) la eficacia de emisión de los dispositivos de control de las emisiones depende del tipo de herramienta en la cual han sido instalados (oblas de silicio de 150, 200 o 300 mm.), de la cantidad de gas CF que fluye a través de esa herramienta en particular y del flujo total de escape que pasa a través del dispositivo de control de las emisiones. Un dispositivo de control de las emisiones que puede destruir el 99 por ciento de un CF, cuando ha sido optimizado para destruir ese CF en una determinada herramienta, puede destruir menos del 95 por ciento de ese CF cuando ha sido optimizado para destruir otro gas, o cuando se lo utiliza en una herramienta para la cual no fue diseñado, o bien, si el flujo de gas CF de escape total sobrepasa un cierto límite. Los fabricantes de productos electrónicos y los de herramientas para la reducción de las emisiones deben garantizar que el sistema de reducción instalado esté bien dimensionado y en condiciones de mantenimiento, y que el dispositivo de control de las emisiones pueda alcanzar o superar el factor de emisión por defecto señalado en el Cuadro 6.6.

6.2.2.2 FLUIDOS DE TRANSFERENCIA TÉRMICA

Los factores de emisión por defecto para el método de Nivel 1 se presentan en el Cuadro 6.2. No existe un factor de emisión para el método de Nivel 2 para estimar las emisiones derivadas de la evaporación de los fluidos de transferencia térmica.

6.2.3 Elección de los datos de la actividad

Los datos de la actividad para la industria electrónica consisten en datos sobre las ventas de gases y sobre el uso de las cantidades anuales de sustrato electrónico procesado (p. ej., m² de silicio procesado para los semiconductores). En el caso de los métodos de Nivel 2, que los usan más intensivamente, se necesitan datos sobre las compras de gases al nivel de las compañías o de las plantas. Para el método de Nivel 1, los compiladores del inventario deben determinar el área total de la superficie de los sustratos electrónicos procesados para un año determinado. El consumo de silicio puede estimarse utilizando una edición apropiada de la base de datos del observatorio *World Fab Watch* (WFW), una publicación trimestral de *Semiconductor Equipment & Materials International* (SEMI)¹⁷. La base de datos contiene una lista de plantas (de producción, también de investigación y desarrollo, plantas piloto, etc.) a escala mundial, con información sobre ubicación, capacidad de diseño, dimensión de las obleas de sustrato y muchas otras. Por igual, la base de datos del SEMI «*Flat Panel Display Fabs on Disk*» proporciona una estimación del consumo de vidrio para la fabricación de TFT-FPD al nivel mundial.

Los datos de la actividad del Cuadro 6.7 reflejan las cifras de la capacidad de diseño. Las plantas de fabricación de semiconductores y de TFT-FPD no operan según la capacidad de diseño por periodos prolongados, tales como un año entero. En vez de ello, la capacidad fluctúa según la demanda de los productos. Las estadísticas industriales públicas disponibles sobre la fabricación de semiconductores muestran que la utilización de la capacidad mundial anual promedio durante el periodo 1991 – 2000 varió entre un 76 y un 91 por ciento, con un promedio de un 82 por ciento y con un valor más probable del 80 por ciento. Cuando no se disponga de datos

¹⁷ En inglés, el término «*fab*» es sinónimo de instalación de manufactura en cámara blanca. Las plantas que manufacturan semiconductores y pantallas planas (en inglés, *manufacturing plants*) se denominan a menudo plantas de fabricación (en inglés, *fabrication plants*): de ahí, la abreviatura en inglés, «*fab*».

sobre la utilización de la capacidad específica de un país, para la fabricación de semiconductores se sugiere emplear una utilización de la capacidad del 80 por ciento. Este criterio debe emplearse de manera coherente para la serie temporal de las estimaciones. No se dispone de datos públicos sobre la utilización de la capacidad en la fabricación de TFT-FPD. La industria de la fabricación de TFT-FPD, así como la de fabricación de semiconductores, disminuye los precios de los productos para mantener la utilización práctica más alta de la capacidad. En consecuencia, se sugiere emplear, por analogía, un valor de 80 por ciento para estimar el consumo de sustrato de vidrio, utilizando las capacidades de diseño proporcionadas en el Cuadro 6.7 para los fabricantes de TFT-FPD por país. Para la fabricación de PV, los datos publicados sobre la utilización de la capacidad varían entre 77 y 92 por ciento, con un promedio de 86 por ciento para los años 2003 y 2004. Por lo tanto, la cifra recomendada a utilizar por defecto para C_u (véase la Ecuación 6.1) es de 86 por ciento.

Al estimar las emisiones generadas durante la fabricación de PV, se debe dar cuenta de la fracción de la industria que efectivamente emplea los CF (C_{PV} en la Ecuación 6.1). Debido a que estudios recientes indican que entre un 40 y un 50 por ciento de la fabricación de PV utiliza efectivamente los CF, y que su empleo tiende a aumentar, el valor por defecto recomendado para C_{PV} es de 0,5.

El Cuadro 6.7 es un resumen de las capacidades para 2003, 2004 y 2005, correspondientes a los países que, en total, en 2003 daban cuenta de más del 90 por ciento de la capacidad mundial.

CUADRO 6.7 CAPACIDADES TOTALES DE DISEÑO DE SILICIO (Si) Y DE VIDRIO POR PAÍS (mm ²) PARA 2003, 2004 Y 2005						
Totales por país	Capacidades de diseño anual de Si, mm ²			Capacidades de diseño anual de vidrio, mm ²		
	2003 ¹	2004 ²	2005 ²	2003 ¹	2004 ²	2005 ²
Alemania	0,1622	0,1622	0,1622	NA	NA	NA
Australia	0,0008	0,0008	0,0008	NA	NA	NA
Austria	0,0201	0,0201	0,0201	NA	NA	NA
Bélgica	0,0040	0,0040	0,0040	NA	NA	NA
Canadá	0,0041	0,0041	0,0041	NA	NA	NA
China	0,1436	0,1982	0,3243	0,0432	0,0432	0,8154
China, Hong Kong	0,0059	0,0059	0,0059	NA	NA	NA
Corea del Sur	0,3589	0,3742	0,3937	5,8789	9,4679	12,4857
Eslovaquia	0,0043	0,0043	0,0043	NA	NA	NA
Estados Unidos	0,6732	0,6921	0,7190	0,0000	0,0000	0,0000
Francia	0,0653	0,0674	0,0674	NA	NA	NA
Hungría	0,0006	0,0006	0,0006	NA	NA	NA
India	0,0128	0,0128	0,0128	NA	NA	NA
Irlanda	0,0175	0,0430	0,0430	NA	NA	NA
Israel	0,0310	0,0310	0,0564	NA	NA	NA
Italia	0,0431	0,0431	0,0609	NA	NA	NA
Japón	0,9091	0,9235	0,9639	4,5746	5,3256	6,9201
Letonia	0,0019	0,0019	0,0019	NA	NA	NA
Malasia	0,0284	0,0284	0,0284	NA	NA	NA
Países Bajos	0,0301	0,0301	0,0301	0,0209	0,0209	0,0209
Reino Unido	0,0597	0,0597	0,0936	NA	NA	NA
República Checa	0,0057	0,0057	0,0057	NA	NA	NA
República de Bielorrusia	0,0077	0,0077	0,0077	NA	NA	NA
Rusia	0,0250	0,0250	0,0325	NA	NA	NA
Singapur	0,1730	0,1730	0,1985	0,2821	0,2821	0,2821
Sudáfrica	0,0021	0,0021	0,0021	NA	NA	NA
Suecia	0,0019	0,0019	0,0019	NA	NA	NA
Suiza	0,0098	0,0098	0,0098	NA	NA	NA
Tailandia	0,0000	0,0000	0,0094	NA	NA	NA
Total global	3,3206	3,4972	3,8849	15,0572	23,9959	33,7459
Turquía	0,0000	0,0000	0,0000	NA	NA	NA
Vietnam	0,0000	0,0000	0,0000	NA	NA	NA

¹ Los totales por país incluyen las fábricas en producción
 Los totales por país incluyen la fábricas en construcción y las anunciadas
 NA = no se aplica
 Fuentes: Extraídos de la *World Fab Watch Database*, edición de enero de 2004 de *Semiconductor Manufacturing and Flat Panel Display Fabs on Disk Database* (Strategic Marketing Associates, 2004a), edición de octubre de 2004 de *TFT-FPD Manufacturing* (Strategic Marketing Associates, 2004b).

Alemania	0,817
Australia	0,135
Austria	0,0307
Canadá	0,0154
Corea del Sur	0,462
Dinamarca	0,00254
España	0,715
Estados Unidos	1,02
Francia	0,162
Italia	0,100
Japón	3,72
Noruega	0,0138
Portugal	0,115
Reino Unido	0,0269
Suecia	0,377
Suiza	0,00238
^a Las capacidades para todas las tecnologías de fabricación de PV incluyen todas aquellas que pueden no usar los CF durante la fabricación de PV; La utilización de la capacidad promedio mundial para 2003 = 86% Fuente: IEA, 2004. Países que participaron en el estudio sobre PV.	

6.2.4 Exhaustividad

En la mayoría de los países debería ser posible lograr una contabilización exhaustiva de las emisiones provenientes de la industria de los semiconductores pues existe un número limitado de compañías y de plantas. Hay cuatro problemas relacionados con la exhaustividad que deben ser abordados:

- **Otros productos derivados:** Un número de productos derivados se generan por transformación, como resultado del uso de los CF en la limpieza de las cámaras y en el decapado. Como se ha destacado más arriba, la formación de CF₄ y de C₂F₆ puede resultar de la descomposición de otros gases de CF. Asimismo, se ha observado la formación de CF₄ en la limpieza de las cámaras de CVD de bajo-k. En este caso, para estimar las emisiones con exactitud debe emplearse el método de Nivel 3.
- **Nuevos productos químicos:** La exhaustividad será un tema importante en el futuro, a medida que la industria evalúa y adopta nuevos procesos químicos para mejorar sus productos. Los esfuerzos generales de la industria para reducir las emisiones de los CF están acelerando también la prospección de nuevos productos químicos. En consecuencia, en esta industria es una *buena práctica* incorporar un mecanismo que dé cuenta de los gases de efecto invernadero que no estén enumerados en el informe Tercer Informe de Evaluación del IPCC (TAR) (p. ej., C₄F₆, C₅F₈, Fluorinerts™ y Galdens®). Estos nuevos materiales de CF poseen altos PCA o pueden producir emisiones de productos derivados con PCA elevado.
- **Otras fuentes:** Una pequeña cantidad de CF puede liberarse durante el manejo de los gases (p. ej., la distribución) y a través de fuentes tales como las plantas a escala de investigación y desarrollo (p. ej., las universidades) y los proveedores de herramientas. No se piensa que estas emisiones sean significativas (p. ej., menos del 1 por ciento de las emisiones totales de la industria).
- **Otros productos y procesos:** Se ha identificado el uso de los CF en las aplicaciones emisivas de la industria electrónica, que incluyen: sistemas micro-electro-mecánicos (MEMS, del inglés, *micro-electro-mechanical*

systems)¹⁸, fabricación de discos duros, ensayos de dispositivos (líquido de CF), soldadura por reflujo en fase vapor¹⁹ y limpieza de precisión²⁰.

6.2.5 Desarrollo de una serie temporal coherente

El uso de los CF en la industria de los semiconductores comenzó a fines de la década de 1970 y se aceleró significativamente a comienzos de la década de 1990. La determinación de un nivel de emisiones del año de base puede presentar dificultades pues se dispone de pocos datos sobre las emisiones ocurridas antes de 1995. Si las estimaciones de las emisiones históricas estuvieron basadas en hipótesis simples (p. ej., el uso es igual a las emisiones), entonces es posible mejorar estas estimaciones mediante la aplicación de los métodos descritos más arriba. Si no se dispone de los datos históricos que permiten el empleo de los métodos de Nivel 3 ó 2, entonces puede usarse retrospectivamente el método de Nivel 1 con parámetros de emisión por defecto. Tanto el Nivel 1 como el 2 pueden aplicarse entonces simultáneamente a los años en los que los datos comiencen a estar disponibles, con el fin de proporcionar un criterio de comparación o de referencia. Debe realizarse de acuerdo con la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

Para garantizar un registro coherente de las emisiones a través del tiempo, el compilador del inventario debe recalcular las emisiones de los CF para todos los años declarados, cada vez que se cambien los procedimientos de cálculo para las emisiones (p. ej., si un compilador del inventario cambia del uso de valores por defecto al uso de los valores reales determinados al nivel de la planta). Si no se dispone de datos específicos de las plantas para todos los años de una serie temporal, el compilador debe considerar cómo utilizar los datos actuales de las plantas para recalcular las emisiones para estos años. Puede ser posible aplicar los parámetros de emisión actuales y específicos de las plantas a los datos sobre las ventas de los años anteriores, siempre y cuando las operaciones de las plantas no hayan cambiado sustancialmente. Una repetición tal de los cálculos es necesaria para garantizar que todo cambio en las tendencias de emisión corresponda a un cambio real y no a un artificio producido por un cambio de procedimiento.

6.3 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

El empleo del método de Nivel 3 produce un inventario menos incierto. Dados el limitado número de plantas y el monitoreo estricto de los procesos de producción al nivel de las plantas, la recopilación de los datos necesarios para los métodos de Nivel 2b o 3 debería ser técnicamente factible. Para obtener las incertidumbres, los compiladores del inventario deben solicitar consejos a la industria, empleando los métodos para obtener los dictámenes de expertos delineados en el Volumen 1, Capítulo 3.

El más incierto de todos los métodos es el de Nivel 1. El empleo de un único factor para dar cuenta de las emisiones de los CF provenientes de una diversidad de semiconductores constituye una simplificación flagrante. Los factores presentados en el Cuadro 6.2 están fuertemente sesgados hacia la fabricación de productos avanzados de memoria y de lógica, producidos mediante tecnologías cuya antigüedad data de fines de la década de 1990, con estructuras de 3 hasta 5 capas respectivamente y manufacturados sobre obleas de silicio. En los países que están fabricando actualmente productos con tecnologías de vanguardia (y que no están implementando medidas para reducir las emisiones de CF) los factores deben ser mayores, mientras que los países que fabrican productos empleando las tecnologías más antiguas o que fabrican dispositivos más simples utilizarán los mismos factores o incluso factores menores.

Los factores de emisión de Nivel 1 para la fabricación de TFT-FPD representan un promedio ponderado de las emisiones agregadas estimadas de PFC por unidad de área del vidrio de sustrato consumido durante la fabricación de TFT-FPD, en las áreas donde los datos estaban disponibles (Burton, 2004b). Para las emisiones estimadas declaradas para el Japón se emplearon los factores de Nivel 2b para la fabricación de semiconductores, tomados del documento *Orientación del IPCC para las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (IPCC, 2000), en la fabricación de semiconductores (Nishida *et al.*, 2004). No se declaró el método utilizado para estimar las emisiones de los fabricantes de TFT-

¹⁸ Las emisiones provenientes de la fabricación de sistemas micro-electro-mecánicos (MEMS) pueden estimarse mediante métodos similares a los empleados para otros subsectores de la electrónica. Se necesitan factores de emisión y de reducción específicos de las compañías. También pueden utilizarse cantidades muy pequeñas de CF en las instalaciones o laboratorios de investigación y desarrollo.

¹⁹ Las emisiones provenientes de la soldadura por reflujo en fase vapor pueden estimarse iguales a las compras anuales netas de CF realizadas para el mantenimiento de los equipos de soldadura por reflujo en fase vapor

²⁰ Las emisiones provenientes de la limpieza de precisión deben contabilizarse en la Sección 7.2 (Solventes) de este Volumen.

FPD de Taiwán (Leu *et al.*, 2004). Sin embargo, posteriormente Leu (2004) declaró un factor agregado de emisión de magnitud similar al factor desarrollado por Burton (2004b). La incertidumbre en el factor de emisión de Nivel 1 para la fabricación de TFT-FPD es probablemente grande, pero no se conoce actualmente.

Al emplear el método de Nivel 3 para la fabricación de semiconductores y de TFT-FPD, las estimaciones resultantes de las emisiones serán más exactas que las de los métodos de Nivel 2a, 2b ó 1, por un orden del ± 30 por ciento (con un intervalo de confianza del 95 por ciento). La incertidumbre asociada a la eficacia de la tecnología de control de las emisiones es la que parece contribuir más a esta incertidumbre, en particular debido a la variabilidad en el tiempo de funcionamiento de los dispositivos de control de las emisiones y en los índices de flujo hacia estos dispositivos que pueden sobrepasar sus límites de diseño.

Las estimaciones de las emisiones provenientes del uso de fluidos de transferencia térmica que emplean el método de Nivel 2, serán más exactas que las del método de Nivel 1, por un orden del ± 20 por ciento (con un intervalo de confianza del 95 por ciento).

6.3.1 Incertidumbres del factor de emisión

Las incertidumbres asociadas a los factores de emisión sugeridos para los métodos de Nivel 2b y 2a se presentan en el Cuadro 6.9, para la fabricación de semiconductores, y en el Cuadro 6.10, para la fabricación de TFT-FPD. Los factores fueron desarrollados específicamente para esta orientación. Para el Nivel 2b, los errores relativos para cada entrada (proceso y gas, en el caso del Nivel 2b) fueron estimados como la desviación estándar de los factores proporcionados por un grupo de expertos, normalizados al promedio simple (no ponderado) y redondeados a una cifra significativa. Luego, se duplicó la estimación para cada valor para estimar el intervalo de confianza del 95 por ciento. Se utilizó el mismo procedimiento para estimar los errores relativos para los factores de formación de productos (B). Las estimaciones correspondientes para el método de Nivel 2a fueron derivadas de las estimaciones de Nivel 2b, utilizando las estimaciones sobre el uso de gas empleadas en el desarrollo de los factores de emisión (véase la Sección 6.2.2, Nivel 2).

Los factores de emisión de Nivel 1 tendrán un intervalo de incertidumbre sesgado hacia valores próximos a cero, extendiéndose superiormente hasta un 200 por ciento (con un intervalo de confianza del 95 por ciento para la fabricación de semiconductores y de TFT-FPD). No se dispone de estimaciones de incertidumbre para la fabricación de PV.

6.3.2 Incertidumbres en los datos de la actividad

En los métodos de Nivel 2a y 2b, la unidad de actividad considerada para estimar las emisiones provenientes de la producción de semiconductores, TFT-FPD y PV es el consumo de gas. Éste puede medirse o estimarse a partir de datos sobre las compras de gas y requiere que se conozca *h*, el resto del gas no utilizado que se devuelve a los proveedores de gas en los contenedores de transporte. Las incertidumbres (con intervalo de confianza del 95 por ciento) asociadas al consumo de gas y al resto *h*, sea éste medido o estimado utilizando el dictamen de expertos, se muestran en el Cuadro 6.10, Estimaciones por defecto de los errores relativos (%) de Nivel 2 asociados a los factores de emisión de los CF para la fabricación de LCD, con un intervalo de confianza del 95 por ciento.

En el método de Nivel 1, la unidad de actividad considerada es el consumo de sustrato. Las incertidumbres asociadas a los datos de la actividad de Nivel 1 se atribuyen principalmente a la ausencia de entradas en las bases de datos sobre WFW y FPD. Una estimación de la fiabilidad de las entradas derivadas de los WFW, en el Cuadro 6.7, da un valor de ± 10 por ciento (con un intervalo de confianza del 95 por ciento), lo cual refleja los errores debidos a las entradas faltantes e incorrectas en la base de datos. El intervalo de confianza del 95 por ciento respecto de la utilización de la capacidad durante el periodo 1991-2000 es de ± 12 puntos porcentuales. Se supone que las entradas correspondientes para la fabricación de TFT-FPD y de PV son similares a las de la fabricación de semiconductores.

CUADRO 6.9 ESTIMACIONES POR DEFECTO DE LOS ERRORES RELATIVOS (%) DE NIVEL 2 ASOCIADOS A LOS FACTORES DE EMISIÓN DE CF PARA LA FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES, CON UN INTERVALO DE CONFIANZA DEL 95 POR CIENTO														
Gas de proceso (i)	Gases de efecto invernadero con PCA del TIE									Gases de efecto invernadero sin PCA del TIE			Productos derivados CF que no producen GEI	
	CF ₄	C ₂ F ₆	CHF ₃	CH ₂ F ₂	C ₃ F ₈	c-C ₄ F ₈	NF ₃ Remoto	NF ₃	SF ₆	C ₄ F ₆	C ₅ F ₈	C ₄ F ₈ O	F ₂	COF ₂
Nivel 2a														
1-Ui	15	30	100	400	20	80	400	70	300	300	80 [†]	40	NA	NA
B_{CF4}	NA	90	300	200	60	100	200	200	NA	200	100 [†]	80	200	200
B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	200	NA	NA	NA	200	200	NA	NA	NA
B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	40	NA	NA
Nivel 2b														
Decapado 1-Ui	60	100	100	700	NA	200	NA	300	300	300	200 [†]	NA	NA	NA
CVD 1-Ui	10	30	NA	NA	0.4	30	400	70	NA	NA	30 [†]	40	NA	NA
Decapado B_{CF4}	NA	200	300	200	NA	200	NA	NA	NA	200	200 [†]	NA	NA	NA
Decapado B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	200	NA	NA	NA	200	200 [†]	NA	NA	NA
CVD B_{CF4}	NA	80	NA	NA	60	60	200	200	NA	NA	60 [†]	80	200	200
CVD B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	40	NA	NA

Notas: NA significa que, según la información disponible actualmente, no se aplica al caso.
^{*} Los valores que sobrepasan el 100% implican una distribución sesgada hacia valores próximos de cero y que se extiende superiormente hasta el valor dado.
[†] La estimación se apoya en una analogía con el c-C₄F₈, pues los datos disponibles sobre el C₅F₈ fueron insuficientes para estimar el intervalo de confianza.

CUADRO 6.10 ESTIMACIONES POR DEFECTO DE LOS ERRORES RELATIVOS (%) DE NIVEL 2 ASOCIADOS A LOS FACTORES DE EMISIÓN DE LOS CF PARA LA FABRICACIÓN DE LCD, CON UN INTERVALO DE CONFIANZA DEL 95 POR CIENTO														
Gas de proceso (i)	Gases de efecto invernadero con PCA del TIE									Gases de efecto invernadero sin PCA del TIE			Productos derivados CF que no producen GEI	
	CF₄	C₂F₆	CHF₃	CH₂F₂	C₃F₈	c-C₄F₈	NF₃ Remoto	NF₃	SF₆	C₄F₆	C₅F₈	C₄F₈O	F₂	COF₂
Nivel 2a														
1-Ui	50	NA	8	NA	NA	5	70	20	20	NA	NA	NA	NA	NA
B_{CF4}	NA	NA	30	NA	NA	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{CHF3}	NA	NA	NA	NA	NA	20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{C2F6}	NA	NA	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Nivel 2b														
Decapado 1-Ui	50	100	8	NA	NA	5	NA	60	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD 1-Ui	NA	NA	NA	NA	NA	NA	70	20	6	NA	NA	NA	NA	NA
Decapado B_{CF4}	NA	NA	30	NA	NA	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Decapado B_{CHF3}	NA	NA	NA	NA	NA	20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Decapado B_{C2F6}	NA	NA	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{CF4}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Notas: NA significa que, según la información disponible actualmente, no se aplica al caso.

6.4 GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD (GC/CC), GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

6.4.1 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, así como procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

En el Volumen 1, Capítulo 6, se incluye también una orientación general adicional para los procedimientos de GC/CC de nivel superior. Debido a la naturaleza altamente competitiva de la industria de los semiconductores, deben tomarse medidas para incorporar el manejo de las informaciones confidenciales al proceso de verificación. Los métodos utilizados deben documentarse y debe considerarse la realización de auditorías periódicas sobre las mediciones y los cálculos de datos. Debe considerarse también la realización de una auditoría de GC sobre los procesos y los procedimientos.

6.4.2 Generación de informes y documentación

Deben tomarse precauciones para no incluir las emisiones de los HFC empleados como sustitutos de las SAO conjuntamente con los HFC utilizados en la fabricación de semiconductores. Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

Las declaraciones explícitas de las emisiones de esta industria mejorarán la transparencia y la comparación de las emisiones. Dado que esta industria emite un cierto número de gases de CF, la declaración por especie individual de gas en vez de por tipo de producto químico mejorará también la transparencia y la utilidad de estos datos. Los esfuerzos que se realicen para aumentar la transparencia deben tomar en consideración la protección de la información confidencial de las compañías en relación con el uso de gases específicos. En los países donde hay tres o más fabricantes, esta información puede protegerse mediante la agregación, al nivel nacional, de los datos sobre emisiones de gases específicos. En el Cuadro 6.11, Información necesaria para una transparencia total de las estimaciones de emisiones provenientes de la fabricación de semiconductores, se indica la información de respaldo necesaria para ofrecer una transparencia total en las estimaciones de las emisiones declaradas.

Para el Nivel 3, la *buena práctica* consiste en documentar el desarrollo de los factores de emisión específicos de las compañías y en explicar las desviaciones respecto de los valores genéricos por defecto. Dadas las consideraciones relativas a la confidencialidad, los compiladores del inventario pueden efectuar una agregación de la información proporcionada por los diferentes fabricantes. En los casos en los que los fabricantes de un país hayan declarado factores de emisión o de conversión diferentes para un determinado CF, un proceso o un tipo de proceso, los compiladores del inventario pueden proporcionar la variedad de factores declarados y utilizados.

CUADRO 6.11				
INFORMACIÓN NECESARIA PARA UNA TRANSPARENCIA TOTAL DE LAS ESTIMACIONES DE LAS EMISIONES PROVENIENTES DE LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS ELECTRÓNICOS				
Datos	Nivel 1	Nivel 2a	Nivel 2b	Nivel 3
Área de la superficie total de sustrato electrónico procesado (p. ej., m ² de silicio, m ² de vidrio)	X			
Utilización de la capacidad para la fabricación de semiconductores, de TFT-FPD y PV	X			
Fracción de la capacidad de fabricación de PV que emplea gases CF	X			
Emisiones de cada gas CF (en vez de agregadas para todos los CF)		X	X	X
Ventas/compras de cada CF		X		
Masa de cada CF empleado en cada proceso o tipo de proceso			X	X
Fracción de cada gas empleado en los procesos con tecnologías de control de emisiones		X	X	X
Tasa de uso para cada CF, para cada proceso o cada tipo de proceso (esta información, y la que sigue más abajo, es necesaria sólo si no se emplea el factor por defecto).				X
Fracción de cada CF transformado en CF ₄ para cada proceso o tipo de proceso				X
Fracción de gas que permanece en el contenedor de transporte				X
Fracción de cada CF destruido por la tecnología de control de las emisiones				X
Fracción de producto derivado CF ₄ destruido por la tecnología de control de las emisiones				X

Referencias

- Agnostinelli, G., Dekkers, H. F. W., DeWolf, S. and Beaucarne, G. (2004). “Dry Etching and Texturing Processes for Crystalline Silicon Solar Cells: Sustainability for Mass Production”, presented at the 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, 2004.
- Alsema, E. A., Bauman, A. E., Hill, R. and Patterson, M. H. (1997) “Health, Safety and Environmental Issues in Thin Film Manufacturing”, 14th European PV Solar Energy Conference, Barcelona, Spain. 1997.
- Burton, C. S. (2004a). “Uses and Air Emissions of Liquid PFC Heat Transfer Fluids from the Electronics Sector: Initial Findings”, report prepared for U. S. EPA’s Climate Change Division, October 2004.
- Burton, C. S. (2004b). “PFC Uses, Emissions, and Trends in FPD Manufacture: An Update”, draft report prepared for U. S. EPA’s Climate Change Division, June 2004.
- Burton, C. S. (2006). “Sources and Methods Used to Develop PFC Emission Factors from the Electronics Sector”, report prepared for U. S. EPA’s Climate Change Division, February 2006.
- Cowles, D. (1999) “Oxide Etch Tool Emissions Comparison for C5F8 and C4F8 Process Recipes”, presented at A Partnership for PFC Emissions Reductions, SEMICON Southwest 99, Austin, TX. October 1999.
- Fthenakis, V. (2005) Personal communication to S. Bartos on 5 February 2005 of data tables quantifying historical and current CF₄ and C₂F₆ usage in PV manufacture for U. S. and Europe.
- Fthenakis, V. (2006) Personal communication to S. Burton and S. Bartos explaining proposal to begin monitoring FC emissions from European PV industry. Feb. 6, 2006.
- IEA (2004). ‘Trends in Photovoltaic Applications: Survey report of selected IEA Countries between 1992 – 2003’, Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS), International Energy Agency, Report IEA-PVPS T1-13:2004, September 2004.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- ITRS (2004), “International Technology Roadmap for Semiconductors” available at <http://public.itrs.net/report.htm>
- Kim, D-H., (2006) 9 January 2006 Personal communication to Hideki Nishida identifying the historical average (50:50) proportion of SF₆ usage for etching and CVD chamber-cleaning in Japanese, Korean and Taiwan TFT-FPD manufacture.
- Leu, C-H., (2004) “SF₆ Abatement Strategy in Taiwan”, presented at SF₆ Power Reduction Partnership for Electric Power Systems, Scottsdale, Az., 1-3 December 2004.
- Leu, C-H *et al.* (2004) “PFC emissions Abatement for TFT-LCD Industry in Taiwan”, available in the Proceedings of the 15th Annual Earth Technology Forum, Washington, D. C., 13-15 April 2004.
- Maycock, P. (2005) “PV market update: global PV production continues to increase”, Renewable Energy World, Vol. 8 (4), pp 86-99.
- Meyers, J., Maroulis, P., Reagan, B. and Green, D. (2001). “Guidelines for Environmental Characterization of Semiconductor Equipment”, Technology Transfer #01104197A-XFR, pub. International SEMATECH, Austin, Texas, USA. December 2004, See: www.sematech.org/docubase/document/4197axfr.pdf.
- Nishida, H. *et al.* (2004) “Voluntary PFC Emission Reduction in the LCD Industry”, available in the Proceedings of the 15th Annual Earth Technology Forum, Washington, D. C., 13 – 15 April 2004.
- Nishida, H., Marsumura, K., Kurokawa, H., Hoshino, A. and Masui, S. (2005), “PFC emission-reduction strategy for the LCD industry”, J. Society for Information Display, Vol 13, pp. 841-848 (2005).
- Nishida, H. (2006). 7 January 2006 Personal communication to D-H. Kim confirming historical average 50:50 proportion of SF₆ usage for etching and CVD chamber-cleaning in Japan, Korean and Taiwan TFT-FPD manufacture.
- Phylipsen, G. J. M. and Alsema, E. A., (1995) “Environmental life-cycle assessment of multicrystalline silicon solar cell modules”, report prepared for Netherlands Agency for Energy and the Environment, Report No. 95057, September 1995.

- Rentsch, J., Schetter C., Schlemm H., Roth, K. and Preu, R. (2005). "Industrialization of Dry Phosphorous Silicate Glass Etching and Edge Isolation for Crystalline Silicon Solar Cells", Presented at the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain. 6-10 June, 2005.
- Sekiya, A. (2003). "Climate-Friendly Alternative Refrigerant and the Others: New Evaluations for sustainability", The Earth Technologies Forum, Washington, D. C., 23 April, 2003.
- Shah, A., Meier, J., Buechel, A., Kroll, U., Steinhauser, J., Meillaud, F. and Schade, H. (2004). "Toward Very Low-Cost Mass Production of Thin-film silicon Photovoltaic (PV) Solar Modules on Glass", presented at ICCG5 Conference in Saarbrücken, Germany, July 2004.
- SIA (2000). "Equipment Environmental Characterisation Guidelines", Revision 3.0, Semiconductor Industry Association (SIA), San Jose, California, USA, February 2000
- Strategic Marketing Associates (2004a). WORLD FAB WATCH: The Industry's Encyclopedia of Wafer Fabs Since 1994, January 2004 Edition.
- Strategic Marketing Associates (2004b). WORLD FAB WATCH: The Industry's Encyclopedia of Wafer Fabs Since 1994, October 2004 Edition.
- Tuma, P.E. and Tousignant, L. (2001). "Reducing Emissions of PFC Heat Transfer Fluids," Presented at Semicon West, San Francisco, July 2001.
- U.S. EPA (2005). U.S. Environmental Protection Agency, Inventory of U.S. Greenhouse Gas and Sinks: 1990-2003, EPA 430-R-05-003, April 2005.

CAPÍTULO 7

EMISIONES DE LOS SUSTITUTOS FLUORADOS PARA LAS SUSTANCIAS QUE AGOTAN LA CAPA DE OZONO

Autores

Paul Ashford (Reino Unido)

James A. Baker (Estados Unidos), Denis Clodic (Francia), Sukumar Devotta (India), David Godwin (Estados Unidos), Jochen Harnisch (Alemania), William Irving (Estados Unidos), Mike Jeffs (Bélgica), Lambert Kuijpers (Países Bajos), Archie McCulloch (Reino Unido), Roberto De Aguiar Peixoto (Brasil), Shigehiro Uemura (Japón) y Daniel P. Verdonik (Estados Unidos)

Autores colaboradores

William G. Kenyon (Estados Unidos), Sally Rand (Estados Unidos) y Ashley Woodcock (Reino Unido)

Índice

7	Emisiones de los sustitutos fluorados para las sustancias que agotan la capa de ozono	7.8
7.1	Introducción	7.8
7.1.1	Sustancias químicas y áreas pertinentes de aplicación cubiertas.....	7.8
7.1.2	Cuestiones metodológicas generales para todas las aplicaciones de los sustitutos de la SAO	7.10
7.1.2.1	Resumen de la problemática de los sustitutos de las SAO.....	7.10
7.1.2.2	Elección del método.....	7.15
7.1.2.3	Elección de los factores de emisión	7.21
7.1.2.4	Elección de los datos de la actividad	7.22
7.1.2.5	Exhaustividad.....	7.24
7.1.2.6	Desarrollo de una serie temporal coherente	7.24
7.1.3	Evaluación de incertidumbre.....	7.25
7.1.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), Generación de informes y documentación para todas las aplicaciones de los sustitutos de las SAO	7.25
7.1.4.1	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC) para todos los sustitutos de las SAO	7.25
7.1.4.2	Generación de informes y documentación para todas las aplicaciones de los sustitutos de las SAO	7.26
7.2	Solventes (sin aerosol).....	7.28
7.2.1	Sustancias químicas cubiertas en esta área de aplicación.....	7.28
7.2.2	Cuestiones metodológicas	7.28
7.2.2.1	Elección del método.....	7.28
7.2.2.2	Elección de los factores de emisión	7.29
7.2.2.3	Elección de los datos de la actividad	7.30
7.2.2.4	Exhaustividad.....	7.31
7.2.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente	7.31
7.2.3	Evaluación de incertidumbre.....	7.31
7.2.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	7.32
7.2.4.1	Garantía de calidad y Control de calidad	7.32
7.2.4.2	Generación de informes y documentación	7.32
7.3	Aerosoles (propulsores y solventes).....	7.33
7.3.1	Sustancias químicas cubiertos en esta área de aplicación	7.33
7.3.2	Cuestiones metodológicas	7.33
7.3.2.1	Elección del método.....	7.33
7.3.2.2	Elección de los factores de emisión	7.35
7.3.2.3	Elección de los datos de la actividad	7.35
7.3.2.4	Exhaustividad.....	7.36

7.3.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente	7.36
7.3.3	Evaluación de la incertidumbre	7.36
7.3.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	7.36
7.3.4.1	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC)	7.36
7.3.4.2	Generación de informes y documentación	7.37
7.4	Agentes espumantes	7.38
7.4.1	Sustancias químicas cubiertas en esta área de aplicación.....	7.38
7.4.2	Cuestiones metodológicas	7.39
7.4.2.1	Elección del método.....	7.40
7.4.2.2	Elección de los factores de emisión	7.42
7.4.2.3	Elección de los datos de la actividad	7.45
7.4.2.4	Resumen de los métodos principales	7.46
7.4.2.5	Exhaustividad.....	7.47
7.4.2.6	Desarrollo de una serie temporal coherente	7.48
7.4.3	Evaluación de incertidumbre.....	7.48
7.4.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	7.48
7.4.4.1	Garantía de calidad y Control de calidad	7.48
7.4.4.2	Generación de informes y documentación	7.48
7.5	Refrigeración y aire acondicionado.....	7.50
7.5.1	Sustancias químicas cubiertas en esta área de aplicación.....	7.50
7.5.2	Cuestiones metodológicas	7.52
7.5.2.1	Elección del método.....	7.52
7.5.2.2	Elección de los factores de emisión	7.58
7.5.2.3	Elección de los datos de la actividad	7.61
7.5.2.4	Aplicación de los métodos de Nivel 2 – el ejemplo del aire acondicionado móvil (MAC)..	7.62
7.5.2.5	Exhaustividad.....	7.65
7.5.2.6	Desarrollo de una serie temporal coherente	7.66
7.5.3	Evaluación de incertidumbre.....	7.66
7.5.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	7.66
7.5.4.1	Garantía de calidad y Control de calidad	7.66
7.5.4.2	Generación de informes y documentación.....	7.67
7.6	Productos contra incendios.....	7.68
7.6.1	Sustancias químicas cubiertas en esta área de aplicación.....	7.68
7.6.2	Cuestiones metodológicas	7.69
7.6.2.1	Elección del método.....	7.69
7.6.2.2	Elección de los factores de emisión	7.71
7.6.2.3	Elección de los datos de la actividad	7.72
7.6.2.4	Exhaustividad.....	7.72
7.6.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente	7.72

7.6.3	Evaluación de incertidumbre.....	7.72
7.6.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	7.73
7.6.4.1	Garantía de calidad y Control de calidad.....	7.73
7.6.4.2	Generación de informes y documentación.....	7.73
7.7	Otras aplicaciones.....	7.73
7.7.1	Sustancias químicas cubiertas en esta área de aplicación.....	7.73
7.7.2	Cuestiones metodológicas.....	7.74
7.7.2.1	Elección del método.....	7.74
7.7.2.2	Elección de los factores de emisión	7.75
7.7.2.3	Elección de los datos de la actividad	7.75
7.7.2.4	Exhaustividad.....	7.75
7.7.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente	7.75
7.7.3	Evaluación de incertidumbre.....	7.76
7.7.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación	7.76
7.7.4.1	Garantía de calidad y Control de calidad.....	7.76
7.7.4.2	Generación de informes y documentación	7.76
Referencias	.....	7.78

Ecuaciones

Ecuación 7.1	Cálculo del consumo neto de una sustancia química en una aplicación específica.....	7.16
Ecuación 7.2A	Cálculo de las emisiones de una sustancia química de una aplicación específica.....	7.16
Ecuación 7.2B	Cálculo de las emisiones de una sustancia química de una aplicación con bancos	7.17
Ecuación 7.3	Ecuación general de equilibrio de masas para el Nivel 1b	7.17
Ecuación 7.4	Ecuación resumida de emisiones basada en las fases del ciclo de vida útil	7.20
Ecuación 7.5	Método de estimación de las emisiones para los usos en solventes	7.28
Ecuación 7.6	Método de estimación de las emisiones para los usos de los aerosoles.....	7.33
Ecuación 7.7	Enfoque general por factor de emisión (A) para las espumas	7.39
Ecuación 7.8	Método de cálculo genérico para las emisiones provenientes de las espumas de celdas abiertas	7.40
Ecuación 7.9	Determinación de las emisiones de los refrigerantes por equilibrio de masas.....	7.55
Ecuación 7.10	Resumen de las fuentes de emisión	7.56
Ecuación 7.11	Fuentes de emisiones de la gestión de los contenedores	7.57
Ecuación 7.12	Fuentes de emisiones durante la carga de equipos nuevos	7.57
Ecuación 7.13	Fuentes de emisiones durante la vida útil de los equipos	7.58
Ecuación 7.14	Emisiones al fin de la vida útil del sistema	7.58
Ecuación 7.15	Verificación de las evaluaciones del abastecimiento y la demanda	7.66

Ecuación 7.16	Cálculo del mercado anual de refrigerantes	7.67
Ecuación 7.17	Dependencia temporal de las emisiones provenientes de los equipos de protección contra incendios.....	7.69
Ecuación 7.18	Evaluación de las fuentes de emisiones rápidas desde otras aplicaciones.....	7.74
Ecuación 7.19	Evaluación de las emisiones provenientes de otras aplicaciones confinadas	7.75

Figuras

Figura 7.1	Desagregación de los datos químicos en toda una aplicación.....	7.11
Figura 7.2	Árbol de decisión para las emisiones reales provenientes de las aplicaciones de los solventes	7.30
Figura 7.3	Árbol de decisión para las emisiones reales provenientes de la aplicación de los aerosoles.....	7.34
Figura 7.4	Árbol de decisión para las emisiones provenientes de las aplicaciones de las espumas.....	7.43
Figura 7.5	Ejemplo de hoja de cálculo para el método de Nivel 1a.....	7.47
Figura 7.6	Árbol de decisión para las emisiones reales provenientes de la aplicación de refrigeración y aire acondicionado (RAC).....	7.53
Figura 7.7	Ejemplo de hoja de cálculos para la evaluación de Nivel 1a/b	7.54
Figura 7.8	Ejemplo de hoja de cálculo para el método de Nivel 1	7.70
Figura 7.9	Árbol de decisión para las emisiones reales provenientes de la aplicación de la protección contra incendios	7.71
Figura 7.10	Árbol de decisión para las emisiones reales provenientes de otras aplicaciones	7.77

Cuadros

Cuadro 7.1	Áreas principales de aplicación para los HFC y los PFC como sustitutos de las SAO.....	7.10
Cuadro 7.2	Panorama general de los requerimientos de datos para los diferentes niveles y enfoques	7.15
Cuadro 7.3	Ejemplo de distribución del uso de los HFC/PFC por área de aplicación	7.19
Cuadro 7.4	Uso de los HFC en la industria del soplado de espumas	7.38
Cuadro 7.5	Factores de emisión por defecto para los HFC provenientes de las espumas de celdas cerradas	7.41
Cuadro 7.6	Factores de emisión por defecto para los usos de los HFC-134a/HFC-152a	7.44
Cuadro 7.7	Factores de emisión por defecto para los usos de los HFC-245fa/HFC-365mfc/HFC-227ea	7.44
Cuadro 7.8	Mezclas (muchas contienen HFC y/o PFC)	7.51
Cuadro 7.9	Estimaciones para la carga, vida útil y factores de emisión en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado	7.60
Cuadro 7.10	Documentación de buena práctica para los sistemas de refrigeración y aire acondicionado	7.68

Recuadros

Recuadro 7.1	Bases de datos mundiales y regionales para los sustitutos de las SAO	7.13
Recuadro 7.2	Implementación del Nivel 2a para la aplicación de las espumas utilizando datos derivados mundial o regionalmente	7.46
Recuadro 7.3	Contabilización de la importaciones y exportaciones de refrigerantes y equipos	7.62
Recuadro 7.4	Ejemplo de aplicación de un cálculo de Nivel 2a para el aire acondicionado móvil.....	7.63

7 EMISIONES DE LOS SUSTITUTOS FLUORADOS PARA LAS SUSTANCIAS QUE AGOTAN LA CAPA DE OZONO

7.1 INTRODUCCIÓN

7.1.1 Sustancias químicas y áreas pertinentes de aplicación cubiertas

Los hidrofluorocarbonos (HFC) y, en una medida muy limitada, los perfluorocarbonos (PFC), sirven como alternativas a las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) que están siendo retiradas de circulación en virtud del Protocolo de Montreal. Las áreas actuales y previsibles de aplicación de los HFC y los PFC incluyen (IPCC/TEAP, 2005):

- refrigeración y aire acondicionado;
- extinción de incendios y protección contra explosiones;
- aerosoles;
- limpieza con solventes;
- agentes espumantes; y
- otras aplicaciones¹.

En este capítulo, estos agrupamientos mayores de los usos actuales y previsibles están referenciados como *aplicaciones* dentro de la categoría de los sustitutos de las SAO. En esta introducción (Sección 7.1) se proporciona un marco general para estimar las emisiones provenientes de los sustitutos de las SAO y las secciones subsiguientes (Secciones 7.2 hasta 7.7) proporcionan una orientación especializada sobre las aplicaciones individuales presentadas más arriba. Algunas de estas aplicaciones abarcan, por sí mismas, productos o usos con diversas características de emisión y los países producirán estimaciones más rigurosas si dan cuenta de esta diversidad mediante la adopción de evaluaciones desagregadas (de nivel superior). Además, en algunas aplicaciones, en particular en las espumas rígidas (típicamente, las espumas de celdas cerradas), en la refrigeración y en la extinción de incendios, el uso de los HFC y de los PFC puede conducir al desarrollo de *bancos* de materiales de larga duración. Los patrones de emisión de estos usos pueden ser particularmente complejos y los métodos que emplean conjuntos de datos desagregados son esenciales para generar estimaciones exactas de las emisiones. Otras aplicaciones, como los aerosoles y la limpieza con solventes pueden tener inventarios de existencias de corto plazo pero, en el contexto de la estimación de las emisiones, aún pueden considerarse fuentes de emisiones rápidas. Esta afirmación se aplica también a las espumas flexibles (típicamente, las de celdas abiertas).

Los HFC y los PFC no están controlados por el Protocolo de Montreal porque no contribuyen al agotamiento de la capa estratosférica de ozono. Los HFC son sustancias químicas que sólo contienen hidrógeno, carbono y flúor. Con anterioridad al Protocolo de Montreal y al retiro de circulación de varias SAO, los únicos HFC producidos eran el HFC-152a, que es un componente de la mezcla refrigerante R-500, y el HFC-23, refrigerante de bajas temperaturas, que es un producto derivado de la producción de HCFC-22². El HFC-134a entró en producción en 1991 y desde entonces se introdujo una variedad de otros HFC, los cuales están siendo utilizados actualmente como sustitutos de las SAO (IPCC/TEAP, 2005), entre otras aplicaciones. Al recopilar datos sobre el consumo de los HFC y los PFC con fines declarativos, deben tomarse precauciones para incluir esos HFC existentes en las mezclas pero, al mismo tiempo, para no incluir aquellos componentes de una mezcla que no necesitan ser declarados (p. ej., los CFC y los HCFC).

Los HFC y los PFC poseen un alto potencial de calentamiento atmosférico (PCA) y en el caso de los PFC, largos tiempos de residencia en la atmósfera. En el Cuadro 7.1 se presenta un panorama general sobre los HFC y PFC

¹ Los HFC y los PFC pueden emplearse también como sustitutos de SAO en los equipos de esterilización, para las aplicaciones de expansión del tabaco y como solventes en la fabricación de adhesivos, revestimientos y tintas.

² HCFC - hidroclorofluorocarbonos

más importantes (*IPCC Second Assessment Report* (IPCC, 1996); *IPCC Third Assessment Report* (IPCC, 2001); IPCC/TEAP, 2005), incluidas sus principales áreas de aplicación. Los diferentes HFC y PFC tienen muy diferentes potencialidades como gases de efecto invernadero. Los PFC poseen unos PCA particularmente elevados, independientemente del horizonte temporal integrado que se adopte, debido a su larga permanencia en la atmósfera. Los patrones de consumo relacionados con los gases individuales deben, por lo tanto, conocerse o estimarse con una exactitud razonable para lograr realizar evaluaciones útiles sobre el aporte al calentamiento atmosférico global debida a las emisiones generadas por este grupo de sustancias químicas.

Dado que los CFC, los halones, el tetracloruro de carbono, el metil cloroformo y, por último, los HCFC están siendo retirados finalmente de la circulación³, los HFC se están utilizando selectivamente como reemplazantes. También se están empleando los PFC, pero sólo en una medida limitada. Aunque hasta un 75 por ciento de las aplicaciones anteriores de los CFC puedan estar cubiertas hoy por las tecnologías sin fluorocarbonos (IPCC/TEAP, 2005), se prevé, al menos en el corto plazo, que el uso de los HFC continuará creciendo.

³ Para conocer el programa y los plazos de retiro de circulación impuestos por el Protocolo de Montreal, refiérase a <http://hq.unep.org/ozone/>

CUADRO 7.1
ÁREAS PRINCIPALES DE APLICACIÓN PARA LOS HFC Y LOS PFC COMO SUSTITUTOS DE LAS SAO¹

Sustancia química	Refrigeración y aire acondicionado	Extinción de incendios y protección contra explosiones	Aerosoles		Limpieza con solventes	Soplado de espumas	Otras aplicaciones ²
			Propulsores	Solventes			
HFC-23	X	X					
HFC-32	X						
HFC-125	X	X					
HFC-134a	X	X	X			X	X
HFC-143a	X						
HFC-152a	X		X			X	
HFC-227ea	X	X	X			X	X
HFC-236fa	X	X					
HFC-245fa				X		X	
HFC-365mfc				X	X	X	
HFC-43-10mee				X	X		
PFC-14 ³ (CF ₄)		X					
PFC-116 (C ₂ F ₆)							X
PFC-218 (C ₃ F ₈)							
PFC-31-10 (C ₄ F ₁₀)		X					
PFC-51-14 ⁴ (C ₆ F ₁₄)					X		

¹ Varias aplicaciones emplean los HFC y los PFC como componentes de mezclas. Los otros componentes de estas mezclas son a veces las SAO y/o los gases sin efecto invernadero. Varios HFC, PFC y mezclas se comercializan bajo nombres de marcas registradas; en este capítulo sólo se emplean las denominaciones genéricas

² Otras aplicaciones incluyen los equipos de esterilización, las aplicaciones en la expansión del tabaco, el decapado por plasma de las pastillas electrónicas (PFC-116) y como solventes en la fabricación de adhesivos, revestimientos y tintas (Kroeze, 1995; U.S. EPA, 1992a).

³ El PFC-14 (químicamente, el CF₄) se utiliza como componente menor de una mezcla comercial. Se emplea principalmente en el decapado de semiconductores.

⁴ El PFC-51-14 es un material inerte que tiene una capacidad reducida o nula para disolver los suelos. Puede utilizarse como transportador de otros solventes o para disolver y depositar los lubricantes de los discos duros. Los PFC se utilizan también para someter a prueba la estanqueidad de los componentes sellados.

7.1.2 Cuestiones metodológicas generales para todas las aplicaciones de los sustitutos de la SAO

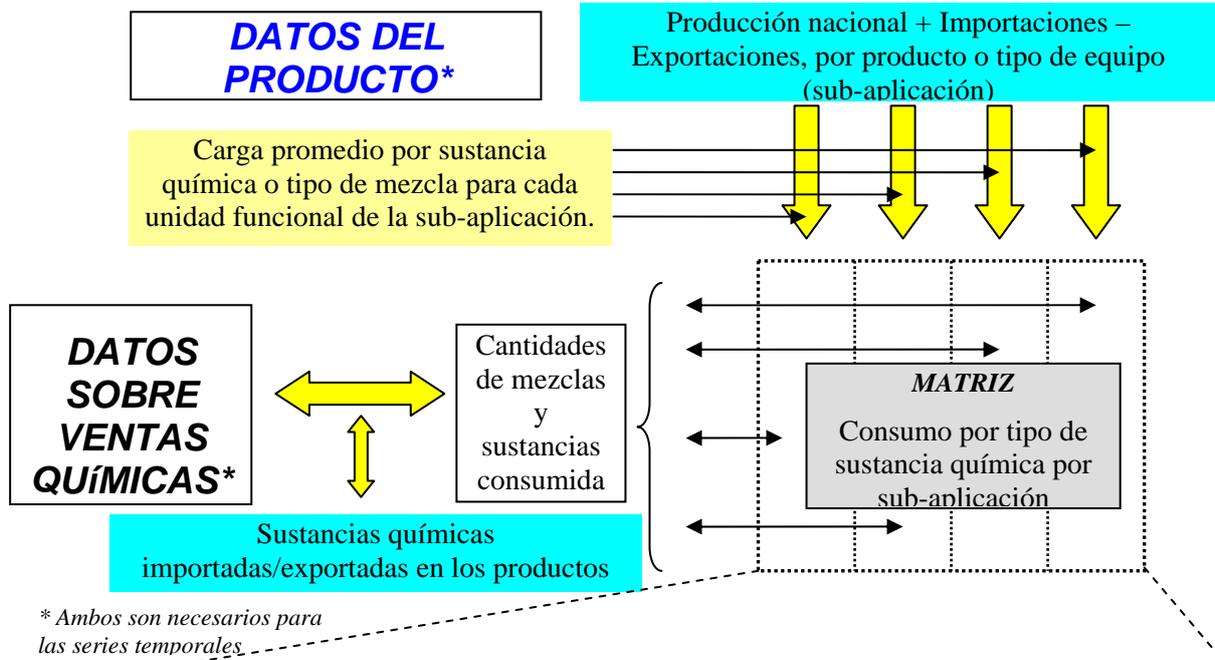
7.1.2.1 RESUMEN DE LA PROBLEMÁTICA DE LOS SUSTITUTOS DE LAS SAO

NIVELES DE AGREGACIÓN DE LOS DATOS

Cada aplicación entre las discutidas más arriba puede dividirse en sub-aplicaciones. Al escoger un método para estimar las emisiones, es una *buena práctica* considerar el número y la pertinencia de las sub-aplicaciones, la disponibilidad de los datos y los patrones de emisión. Las aplicaciones que tienen una gran cantidad de sub-aplicaciones (la refrigeración tiene seis sub-aplicaciones mayores; las espumas tienen aún más) se beneficiarán generalmente de un nivel más alto de desagregación en sus conjuntos de datos a causa de las diferencias entre las sub-aplicaciones. En consecuencia, es probable que los compiladores del inventario favorezcan una estimación separada de emisiones para cada sub-aplicación con el fin de obtener estimaciones más rigurosas. En este capítulo, un enfoque semejante define un método de Nivel 2, mientras que los métodos que se aplican sobre la base de conjuntos de datos agregados al nivel de las aplicaciones, se clasifican todos como métodos de Nivel 1. Aun cuando existan pocas sub-aplicaciones, la estimación de las emisiones por sub-aplicación sigue siendo lo más apropiado debido a las diferencias respecto de los patrones de emisión, los usos químicos, las metodologías

de recopilación de datos y/o la disponibilidad de los datos. En el caso de la protección contra incendios, por ejemplo, ésta tiene sólo dos sub-aplicaciones mayores, pero cada una posee características de emisión únicas y con un método desagregado (de Nivel 2) se obtienen mejores estimaciones de las emisiones respectivas. Por otro lado, si los patrones de emisión de las sub-aplicaciones son similares y es difícil recopilar los datos bajo una forma desagregada, la estimación de las emisiones a un nivel agregado (Nivel 1) puede constituir un abordaje apropiado para producir estimaciones fiables de las emisiones. Por ejemplo, aunque existan varias sub-aplicaciones dentro de la aplicación de los aerosoles propulsores, para lograr buenos resultados puede ser suficiente estimar las emisiones al nivel de la aplicación, pues los patrones de emisión y las sustancias químicas utilizadas son similares.

Figura 7.1 Desagregación de los datos químicos en toda una aplicación



Consumo de sustancia química, banco o emisiones		Datos del producto para la aplicación						
		Sub-aplicación 1			Sub-aplicación 2			Etc.
		Producción nacional	+ Importaciones	- Exportaciones	Producción nacional	+ Importaciones	- Exportaciones	
Datos químicos para la aplicación	Sustancia química 1							
	Sustancia química 2			Completar cada celda (algunas pueden ser cero) con los datos de sustancias y productos según la disponibilidad. Para las mezclas, separar los datos según los componentes químicos individuales. Determinar si los datos sobre sustancias químicas incluyen a esa sustancia utilizada en las mezclas o no.				
	Sustancia química 3							
	Mezcla A							
	Mezcla B							
	Etc.							

TIPOS DE DATOS

Es importante decidir, al comienzo del proceso de estimación, sobre cómo y de dónde se recopilarán los datos. Los datos sobre las ventas de sustancias químicas (llamados a veces datos «de arriba hacia abajo» o verticales descendentes, [«top-down», en inglés]) vienen dados, típicamente, sustancia por sustancia, aunque esto pueda

aún complicarse debido al uso de mezclas. Es frecuente que los datos sobre mercados (llamados a veces datos «de abajo hacia arriba» o verticales ascendentes, [*«bottom-up»*, en inglés]) vengan dados como ventas de equipos o de productos al nivel de la sub-aplicación, aunque estarán afectados típicamente por la existencia de importaciones y exportaciones de tales equipos o productos. Estos datos requieren a menudo estar acompañados por una estimación sobre la parte de mercado que utiliza una tecnología determinada. Por ejemplo, ciertas sustancias químicas diferentes (incluso algunas no están sometidas a declaración), pueden utilizarse en la misma sub-aplicación. Además, la cantidad promedio de sustancia química utilizada por cada tipo de producto dentro de la sub-aplicación, puede variar. Ambas vías (la de las sustancias químicas y la de los productos) representan los dos ejes de una matriz y el enfoque desagregado exige que esa matriz sea llenada por completo (o casi completamente) (Figura 7.1). El llenado de esta matriz se logra típicamente utilizando combinaciones de ambos tipos de datos (esto es, datos «de arriba hacia abajo» y datos «de abajo hacia arriba»), comparando los resultados y ajustándolos según lo que sea más apropiado.

DISPONIBILIDAD DE LOS DATOS

A menudo surgen dificultades al recopilar datos para ambos métodos, el de Nivel 1 y el de Nivel 2, cuando los proveedores nacionales de sustancias químicas estiman que divulgar información genera problemas de confidencialidad. En la práctica, ésta ha sido una de las barreras mayores para lograr estimaciones fiables de las emisiones a la escala nacional.

Con el fin de superar algunas de estas restricciones, en años recientes se han realizado esfuerzos para desarrollar bases de datos mundiales y regionales que procuran información sobre los datos históricos y actuales de la actividad (consumo de sustancias químicas), por países, para aplicaciones y sub-aplicaciones específicas. El mérito de este enfoque es que estos datos pueden validarse frente a las ventas de sustancias químicas a escala regional, o incluso mundial, y evitar así menoscabar las restricciones de confidencialidad que exigen los proveedores. A medida que estas bases de datos se han ido desarrollando (por ejemplo, las que se desarrollan bajo la supervisión de los pertinentes comités de opciones técnicas del PNUMA, bajo el Protocolo de Montreal), han llegado a niveles cada vez mayores de sofisticación en los análisis sobre los patrones de uso, los cuales son a menudo bien comprendidos al nivel de las sub-aplicaciones (véase el Recuadro 7.1). Esto significa que los dos ejes de la matriz descrita anteriormente pueden ser abordados a partir de estos conjuntos de datos y que se puede facilitar el empleo de los métodos de Nivel 2 al nivel de los países, sin recurrir a una inversión masiva de recursos. Estos datos de la actividad pueden combinarse luego con datos sobre los factores de emisión por defecto o los factores de emisión específicos de los países, si están disponibles, para derivar las estimaciones apropiadas de las emisiones. Por supuesto, es importante ser cauto en el uso de tales bases de datos, así como escoger las fuentes reputadas y bien documentadas. Con todo, el uso de datos mundiales o regionales de este tipo puede proporcionar estimaciones fiables. Una estrategia alternativa consistiría en usar la información generada a partir de estas bases de datos para que sirva de referencia comparativa frente a la información recopilada nacionalmente.

En ambos casos, es importante que los datos se generen de forma coherente con los requisitos pertinentes de la generación de informes (p. ej., con el formato común para la generación de informes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)). Estos requisitos pueden variar con el tiempo durante la vida útil de estas *Directrices*. Por lo tanto, la estructuración de los conjuntos de datos de la actividad deberá lo suficientemente flexible como para adaptarse a tales cambios.

En algunas situaciones, la complejidad de la cadena de abastecimiento en sustancias químicas y en equipos puede presentar desafíos adicionales en relación con la disponibilidad de los datos. Como se destaca en la Sección 7.5, existe una variedad de contenedores que pueden ser utilizados para el abastecimiento del mercado de aire acondicionado móvil: desde los contenedores a granel para los fabricantes originales de equipos (OEM, del inglés, *Original Equipment Manufacturer*); a los contenedores intermedios para los centros de servicio de vehículos más comunes (10-15 kg.); hasta las pequeñas latas de 300-500g para el mercado del bricolaje. Puesto que los niveles de generación de desechos varían sustancialmente entre estos diferentes métodos de transporte en la cadena de abastecimiento, los compiladores del inventario deben considerar cómo evaluar las pérdidas en la práctica. El uso de contenedores no está limitado solamente al aire acondicionado móvil, sino que prevalece a menudo en otros sectores del mercado de los refrigerantes, de los aerosoles y en la extinción de incendios. Los compiladores del inventario pueden considerar el tratamiento del abastecimiento de los sustitutos de las SAO como elemento aparte del inventario. Sin embargo, aunque se siga este camino, se requerirá un conocimiento detallado de las sub-aplicaciones para comprender la variedad de los tamaños de contenedor utilizados y la proporción de cada cual. En consecuencia, se considera que lo más adecuado es evaluar las *pérdidas* desde los contenedores dentro de cada aplicación y sub-aplicación, aunque será de *buena práctica* comparar entre sí las pérdidas estimadas al interior de las diferentes aplicaciones y sub-aplicaciones que emplean contenedores de tamaño similar, para garantizar una cierta uniformidad de enfoque.

RECUADRO 7.1**BASES DE DATOS MUNDIALES Y REGIONALES PARA LOS SUSTITUTOS DE LAS SAO**

Típicamente, las bases de datos mundiales y regionales se desarrollan para aplicaciones específicas por expertos en el tema. Estos expertos tienen a menudo buenos contactos profesionales con las fuentes industriales y están familiarizados con el acceso a los estudios de mercado pertinentes y a otros informes que dilucidan los patrones de consumo de las regiones y de los países. Sobre la base de este conocimiento es posible cotejar los datos sobre productos de nivel regional e incluso, mundial, con los datos de consumo de sustancias químicas. Es frecuente que estas bases de datos contengan predicciones sobre consumos futuros, así como evaluaciones sobre el consumo actual. Esto las valoriza también como herramientas para el desarrollo de políticas. Sin embargo, es importante el mantenimiento adecuado y la verificación cruzada de esas bases de datos con los datos reales del consumo de sustancias químicas, en cuanto éstos estén disponibles, con el fin de asegurarse de que toda nueva tendencia u otras causales de discrepancia sean tomadas en cuenta y, en la medida de lo posible, resueltas de manera exhaustiva.

Por ejemplo, los miembros individuales de los comités de opciones técnicas del PNUMA (TOC, del inglés, *Technical Options Committees*), en virtud del Protocolo de Montreal, han preparado varios conjuntos de datos sobre las actividades mundiales que pueden asistir a los países en la preparación de las estimaciones de emisiones provenientes de las SAO. Las bases de datos particularmente pertinentes son las que se utilizan para asistir el desarrollo del Informe especial del IPCC/TEAP sobre la Protección de la capa de ozono y el Sistema Climático Mundial (*IPCC/TEAP Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System*): *Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons* (IPCC/TEAP, 2005), pues la información sobre el retiro de la circulación de las sustancias que agotan la capa de ozono tiene una pertinencia directa en relación con la estimación de la entrada en circulación de los sustitutos. Las hipótesis que fundamentan estos conjuntos de datos han sido documentadas en una serie de informes resumidos que pueden consultarse en <http://epa.gov/ozone/snap/emissions/index.html> (p. ej., Clodic D., Palandre, L., McCulloch, A., Ashford, P. y Kuijpers, L.. «*Determination of comparative HCFC and HFC emission profiles for the Foam and Refrigeration sectors until 2015.*» Report for ADEME and US EPA., 2004). Estos conjuntos de datos existentes han sido revisados por otros pares expertos dentro de los TOC y han sido utilizados por las Partes del Protocolo de Montreal para evaluar las transiciones en los mercados de sustancias químicas y en los patrones de uso de estos productos.

Si es difícil obtener los datos nacionales, los países pueden buscar en la base de datos sobre factores de emisión del IPCC, (EFDB), los conjuntos de datos como los analizados más arriba. Todas estas bases deben estar estructuradas para facilitar su empleo en la generación de informes para el inventario. Es probable que la EFDB llegue a ser la depositaria de una serie de tales bases de datos mundiales y/o regionales en el momento adecuado, ya sea como fuentes adicionales para aplicaciones ya cubiertas o con nuevas fuentes para aplicaciones no cubiertas anteriormente. Aunque la inclusión de las bases de datos en la EFDB proporciona la seguridad general de un proceso adecuado, es una *buena práctica* que los países garanticen que todos los datos tomados de la EFDB sean apropiados a sus circunstancias nacionales y que la revisión de pares sea suficiente para esta área de actividad compleja.

TIPOS DE ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES

A diferencia de las *Directrices* anteriores, los dos métodos, el de Nivel 1 y el de Nivel 2, propuestos en este capítulo proporcionan emisiones *reales* en vez de las *potenciales*. Esto refleja el hecho de que toman en cuenta el lapso transcurrido entre el consumo de los sustitutos de las SAO y la liberación de las emisiones, el cual puede ser considerable, como se ha indicado anteriormente, en áreas de aplicación como las espumas de celdas cerradas, la refrigeración y los equipos de extinción de incendios. Este retardo se debe a que una sustancia química introducida en un producto nuevo puede fugarse sólo muy lentamente con el tiempo y, a menudo, no se libera antes del fin de su vida útil. Por ejemplo, un refrigerador doméstico emite apenas o nada de refrigerante por fugas durante toda su vida útil y la mayor parte de la carga no se libera hasta su eliminación, muchos años después de la producción. Aun entonces, la eliminación puede no implicar emisiones significativas si, tanto el refrigerante como el agente espumante del refrigerador se capturan para ser reciclados o destruidos.

El método de las emisiones *potenciales*, en el cual se supone que las emisiones son iguales a la cantidad de sustancia química virgen consumida anualmente en el país, menos la cantidad que se destruye o se exporta en el año en consideración, se presenta ahora sólo como un caso de referencia en la sección de CG/CC. Como se ha señalado más arriba, el método *potencial* no toma en cuenta la acumulación ni la posible liberación retardada⁴ de sustancias químicas en varios productos y equipos, lo cual implica que al corto plazo (p. ej., de 10 a 15 años), las

⁴ A veces, a partir de equipos y de productos que actualmente han sido convertidos y ya no utilizan las tecnologías de los halocarbonos.

estimaciones pueden llegar a ser muy inexactas. Por ello, no se considera una *buena práctica* utilizar el método *potencial* para las estimaciones nacionales.⁵

OPORTUNIDAD DE LAS EMISIONES Y SIGNIFICADO DE LOS BANCOS

En muchas aplicaciones, los sustitutos de las SAO, tales como los HFC y los PFC, cumplen con su propósito sólo si están confinados (p. ej., en la refrigeración y el aire acondicionado), mientras que en otras aplicaciones están destinados a la emisión (p. ej., en un propulsor de aerosol). Es importante comprender estas diferencias, de modo que pueda evaluarse con exactitud el año en el que se producirán las emisiones y que, en consecuencia, se puedan estimar con exactitud las emisiones *reales*.

Cuando las emisiones se producen dentro de los dos primeros años, se las suele denominar emisiones *rápidas*. Los ejemplos de aplicaciones y sub-aplicaciones que presentan emisiones rápidas incluyen a los aerosoles, los solventes en aerosol, las espumas de celdas abiertas y en algunos casos, los solventes sin aerosol. En general, las emisiones de las aplicaciones o sub-aplicaciones que generan emisiones *rápidas* pueden estimarse a través del consumo anual de la sustancia química, bajo la hipótesis que todas las emisiones ocurren dentro del primer o segundo año después del consumo. Por lo tanto, si para una sustancia química no se conoce el consumo anterior a una fecha determinada, las estimaciones de las emisiones de uno o dos años posteriores a esa fecha serán de todas maneras exactas y se ganará muy poco en exactitud al investigar o estimar el consumo de los años anteriores.

Cuando las emisiones ocurren con retardo, se llama *banco* a la diferencia acumulativa entre la cantidad de producto que se ha consumido en una aplicación o sub-aplicación y la cantidad que ya sido liberada. Las aplicaciones en que se generan típicamente los bancos incluyen la refrigeración y el aire acondicionado, la protección contra incendios y, frecuentemente, los solventes sin aerosol. La definición de un banco abarca todas las etapas del ciclo de vida útil en las cuales hay presencia de la sustancia química y puede extenderse incluso hasta las corrientes de desecho. A modo de ejemplo, un agente espumante que siga presente en los productos de espuma que ya hayan sido depositados en un vertedero, aún forma parte del banco, puesto que es una sustancia química consumida que aún no ha sido liberada. En la práctica, la totalidad de la sustancia química confinada en el equipo actualmente en uso constituye una buena aproximación del banco efectivo, pues para la mayoría de las sub-aplicaciones relacionadas con equipos (p. ej., la refrigeración y la protección contra incendios), es poco probable que éstas trasladen sus cargas hacia la corriente de desecho.

Se estima el tamaño de un banco en una aplicación o sub-aplicación típicamente a través de la evaluación del consumo histórico de una sustancia química y de la aplicación de factores de emisión apropiados. En los casos en los que existe más de una sub-aplicación, pero que se está implementando un método de Nivel 1, es necesario aplicar un factor de emisión compuesto. Sin embargo, en vista de las incertidumbres asociadas a tales factores compuestos de emisión, para las aplicaciones con muchas sub-aplicaciones se preferirán siempre los métodos de Nivel 2, en particular cuando éstas sean de naturaleza diferente.

A veces es posible estimar también el tamaño del banco a partir del conocimiento detallado de las existencias actuales de equipos o productos. Un buen ejemplo es el del aire acondicionado móvil, para el cual se puede disponer de estadísticas sobre vehículos que proporcionan información en términos de población de automóviles por tipo y por antigüedad, e incluso si hay equipos de aire acondicionado presentes. Con un conocimiento sobre las cargas promedio se puede derivar una estimación del banco, sin recurrir al conocimiento detallado sobre el consumo histórico de sustancias químicas, aunque por lo general, será siempre útil para efectuar verificaciones cruzadas.

ENFOQUES PARA ESTIMAR LAS EMISIONES

Aun entre las aplicaciones que retienen sustancias químicas de manera prolongada existen algunas distinciones significativas. En algunos casos (p. ej. la refrigeración) la cantidad de HFC o de PFC se conserva típicamente en el límite de llenado durante el mantenimiento rutinario. Si los equipos mantuvieran anualmente el límite de llenado y, además, el mercado se mantuviera estable (p. ej. sin crecimiento de las existencias de equipos), las emisiones efectivas serían equivalentes al consumo del año en cuestión. En tales circunstancias, no resulta necesario conocer las existencias precisas de los equipos, siempre y cuando, al nivel de las sub-aplicaciones, se conozca el consumo por tipo de HFC y PFC. Ésta es la base del enfoque del equilibrio de masas al cual este capítulo se refiere sistemáticamente como Enfoque B. En el Capítulo 1, Sección 1.5 de este volumen se puede encontrar más información sobre el método del equilibrio de masas. Sin embargo, el enfoque del equilibrio de masas no es apropiado para otras situaciones o para otros productos (p. ej., las espumas) donde el consumo se

⁵ En su tercera sesión, la Conferencia de las Partes de la CMNUCC afirmó: «...que se deben calcular las emisiones reales de los hidrofluorocarbonos, los perfluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre, cuando se disponga de los datos, y que esos cálculos deben utilizarse para declarar las emisiones. Las Partes deben hacer todo los esfuerzos posibles por determinar las fuentes de datos necesarias.» (Decisión 2/CP.3 - Cuestiones metodológicas relativas al Protocolo de Kyoto)

produce únicamente en el punto de fabricación, mientras que las emisiones, en cierta medida, pueden producirse de manera continuada durante todo el periodo de vida útil del producto. En tales casos, por lo general conviene volcarse hacia un enfoque de factor de emisión (es decir, hacia métodos basados en los datos de la actividad (consumo) y en sus factores de emisión). Tales métodos pueden implementarse tanto a niveles agregados (Nivel 1) como desagregados (Nivel 2) y este capítulo se refiere a ellos sistemáticamente como Enfoque A. De ahí que un método de Nivel 1a corresponderá a un enfoque por factor de emisión con un bajo nivel de desagregación, mientras que un método de Nivel 2b corresponderá a un enfoque de equilibrio de masas con un grado relativamente alto de desagregación (por lo menos al nivel de las sub-aplicaciones). Para más información sobre la elección entre el uso de un enfoque por equilibrio de masas y un enfoque por factor de emisión, refiérase al Capítulo 1, Sección 1.5. Por lo general, los enfoques por equilibrio de masas se consideran sólo para los sustitutos de las SAO almacenados o utilizados en contenedores a presión y hay muchas aplicaciones que ni siquiera se consideran con un Enfoque B. Para los casos en los que se considere el Enfoque B (p. ej. la refrigeración y la protección contra incendios) la elección del método se discute en la parte del Capítulo 7 que aborda la aplicación en cuestión.

Algunos de los métodos descritos para estas aplicaciones específicas pueden tener las características de ambos enfoques y el enfoque del equilibrio de masas puede emplearse para cotejar y validar los resultados de un enfoque de factor de emisión/datos de la actividad (consumo). En consecuencia, aunque para evitar confusiones, las convenciones de denominación no varíen en toda la discusión, puede suceder que algunos métodos reciban la etiqueta de Nivel 1a/b o de Nivel 2a/b, por considerarse que contienen elementos de ambos enfoques. Esto ocurre más comúnmente en el caso de los métodos de Nivel 1, cuando los datos son limitados y un enfoque puede servir para cotejar al otro.

En el Cuadro 7.2 se presenta un resumen de los tipos de datos necesarios para implementar los diferentes niveles y enfoques.

CUADRO 7.2 PANORAMA GENERAL DE LOS REQUERIMIENTOS DE DATOS PARA LOS DIFERENTES NIVELES Y ENFOQUES		
	Enfoque A (enfoque del factor de emisión)	Enfoque B (enfoque del equilibrio de masas)
Nivel 2 (estimación de las emisiones a un nivel desagregado)	<ul style="list-style-type: none"> Datos sobre ventas de sustancias químicas y patrones de uso por sub-aplicación [específicos del país o derivados mundial/regionalmente] Factores de emisión por sub-aplicación [específico del país o por defecto] 	<ul style="list-style-type: none"> Datos sobre ventas de sustancias químicas por sub-aplicación [específicos del país o derivados mundial/regionalmente] Datos históricos y actuales sobre ventas de equipos para importación/exportación, por sub-aplicación [específicos del país o derivados mundial/regionalmente]
Nivel 1 (estimación de las emisiones a un nivel agregado)	<ul style="list-style-type: none"> Datos sobre ventas de sustancias químicas por aplicación [específicos del país o derivados mundial/regionalmente] Factores de emisión por aplicación [específico del país o por defecto (compuesto)] 	<ul style="list-style-type: none"> Datos sobre ventas de sustancias químicas por aplicación [específicos del país o derivados mundial/regionalmente] Datos históricos y actuales sobre ventas de equipos ajustados para la importación/exportación, por aplicación [específicos del país o derivados mundial/regionalmente]

En las próximas seis secciones (Secciones 7.2 a 7.7), se incluyen los árboles de decisión de cada aplicación para ayudar a identificar las necesidades en datos y a seleccionar el enfoque para las sub-aplicaciones individuales, cuando éstas existen.

7.1.2.2 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Como ya se ha explicado, las emisiones de los sustitutos de las SAO pueden estimarse de varias maneras con grados diferentes de complejidad y de intensidad en los requerimientos de datos. En este capítulo se proporcionan los métodos de Nivel 1, con requerimientos menos intensivos de datos, basados típicamente en bajos niveles de desagregación, y los métodos de Nivel 2, con datos más intensivos que requieren mayores niveles de desagregación. Un tercer nivel (Nivel 3), basado en el monitoreo efectivo y en la medición de las emisiones de las fuentes por puntos es técnicamente posible para algunas sub-aplicaciones específicas, pero, para los sustitutos de la SAO, éste se emplea muy rara vez, o tal vez nunca, pues las fuentes por puntos son demasiado diversificadas. Por lo tanto, los métodos de Nivel 3 no serán abordados en este capítulo.

MÉTODOS DE NIVEL 1

Los métodos de Nivel 1 tienden a ser menos intensivos en el uso de los datos y menos complejos que los de Nivel 2 porque las estimaciones de las emisiones se efectúan generalmente al nivel de la aplicación en vez de discriminar por productos individuales o por tipos de equipos. Sin embargo, los enfoques propuestos varían considerablemente según las características de las aplicaciones específicas. Pueden existir enfoques de Nivel 1a, 1b y, en algunos casos, combinaciones de uno y otro (Nivel 1 a/b). Este último es con frecuencia el caso, cuando los datos son escasos. En efecto, los resultados de un enfoque de Nivel 1a pueden cotejarse mediante un método de Nivel 1b. Sin embargo, por regla general, los métodos más simples tienden a apoyarse principalmente en un enfoque de Nivel 1a (enfoque por factor de emisión) con un factor de emisión por defecto de hasta el 100 por ciento para las aplicaciones con liberación rápida.

Para el caso de los enfoques de Nivel 1, en general bastan los datos sobre ventas de sustancias químicas al nivel de la aplicación. Sin embargo, la discriminación entre los componentes de las mezclas puede representar un desafío considerable. Independientemente de la metodología de Nivel 1 que se escoja, los países deben declarar las emisiones de los HFC y de los PCF individuales. Por lo tanto, se requerirá información sobre el uso práctico de los diversos tipos comerciales de refrigerantes, agentes espumantes, solventes, etc., que contengan HFC y PFC. Muchos de estos productos son mezclas de dos o más HFC y/o PFC y la composición de los fluidos para propósitos similares puede variar según las fórmulas individuales desarrolladas por las diferentes compañías químicas.

Nivel 1a – Enfoque por factor de emisión al nivel de la aplicación

El Nivel 1a depende de la disponibilidad de los datos sobre la actividad básica al nivel de la aplicación, en vez del nivel de los equipos o de los tipos de productos (sub-aplicación). Estos datos de la actividad pueden consistir en datos sobre el consumo anual de una sustancia química, en el caso de las aplicaciones que presentan emisiones retardadas y que generan bancos de ese producto. Una vez que se han establecido los datos de la actividad al nivel de la aplicación, también se aplican los factores compuestos de emisión (véase la Sección 7.1.2.3) al nivel de la aplicación. Estos factores de emisión más agregados (p. ej., para las espumas rígidas) pueden corresponder a un promedio compuesto o ponderado de los factores de emisión desarrollados para el Nivel 2a que se aplican a los equipos individuales o a los tipos de productos, o bien, pueden validarse recurriendo a un enfoque por aproximación (p. ej., Gamlen *et al.* 1986).

La fórmula para calcular el Consumo neto dentro de un método de Nivel 1a es la siguiente:

<p>ECUACIÓN 7.1</p> <p>CÁLCULO DEL CONSUMO NETO DE UNA SUSTANCIA QUÍMICA EN UNA APLICACIÓN ESPECÍFICA</p> <p><i>Consumo Neto = Producción + Importaciones – Exportaciones – Destrucción</i></p>

Los valores del Consumo neto para cada HFC o PFC se utilizan entonces para calcular las emisiones anuales para las aplicaciones que presentan emisiones rápidas, de la manera siguiente:

<p>ECUACIÓN 7.2A</p> <p>CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE UNA SUSTANCIA QUÍMICA DE UNA APLICACIÓN ESPECÍFICA</p> <p><i>Emisiones Anuales = Consumo neto • EF Compuesto</i></p>
--

Donde:

Consumo Neto = consumo neto para la aplicación

EF Compuesto = factor de emisión compuesto para la aplicación

Nótese que, como se ha discutido en la sección Elección de los datos de la actividad, los compiladores del inventario pueden tener acceso a los datos sobre el consumo de una sustancia química a un nivel agregado en vez de datos por aplicación. En este caso, será necesario determinar en una etapa inicial cuál es la parte del consumo total que corresponde a cada aplicación.

En la Ecuación 7.1, *Producción* se refiere a la producción de una sustancia química nueva. Al estimar el consumo no se debe incluir el reprocesamiento de los fluidos recuperados. Las *Importaciones* y las *Exportaciones* incluyen las sustancias químicas a granel, pero es poco probable que para un método de Nivel 1, éstos contengan la cantidad de sustancias químicas confinadas en los productos, como los refrigeradores, acondicionadores de aire, materiales de embalaje, espumas aislantes, extintores de incendio, etc., a menos que se haya utilizado un sistema de atribución regional u otro método de aproximación. El término *factor de emisión compuesto* se refiere a un índice de emisión que resume los índices de emisión de diferentes tipos de equipos, de productos o, con mayor generalidad, de sub-aplicaciones dentro de un área aplicación de las SAO. Los factores

compuestos de emisión deben dar cuenta del montaje, la operación y, donde sea pertinente en la serie temporal, de las emisiones en la fase de eliminación.

Aunque en la actualidad la destrucción de los HFC y de los PFC vírgenes no sea una práctica difundida y en algunos casos esto pueda resultar técnicamente difícil (*UNEP TEAP Task Force on Destruction Technologies* (UNEP-TEAP, 2002)), este caso se debe incluir como opción eventual para reducir el consumo. Nótese que la destrucción de sustancias químicas vírgenes, tal como se considera aquí, se distingue de la destrucción de los HFC y los PFC en la fase de fin de vida útil, la cual es, en términos estrictos, una medida de reducción de las emisiones. Las emisiones de productos derivados durante la producción de los HFC y/o los PFC y las emisiones fugitivas relacionadas con la producción y la distribución deben calcularse por separado.

Aun en los métodos simples de Nivel 1a suele ser necesario dar cuenta del desarrollo potencial de bancos, cuando éstos puedan producirse. Los bancos corresponden a la cantidad de sustancias químicas que se han acumulado a lo largo del ciclo de vida útil, ya sea en la cadena de abastecimiento, en los productos, en los equipos y hasta en las corrientes de desecho, pero que no ha sido emitida al término del año más reciente. Los bancos pueden estimarse al nivel de las aplicaciones mediante algoritmos e hipótesis simples, siempre y cuando se conozca el Consumo neto histórico para cada año posterior a la introducción de la sustancia, o bien, si este periodo sobrepasa el tiempo de vida útil promedio del producto o equipo, el consumo neto durante ese tiempo de vida útil promedio. Para dar cuenta de las emisiones durante la vida útil de los productos o equipos, los factores de emisión pertinentes de la aplicación se aplican entonces a los bancos. Para los métodos de Nivel 2a se emplea este mismo proceso pero, en ese caso, al nivel de la sub-aplicación. La Sección 7.1.2.1 contiene más información general acerca de los bancos.

En los casos en los que se generan bancos, la Ecuación 7.2A se reemplaza entonces por la siguiente:

<p>ECUACIÓN 7.2B</p> <p>CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE UNA SUSTANCIA QUÍMICA DE UNA APLICACIÓN CON BANCOS</p> <p><i>Emisiones Anuales = Consumo Neto • EF_{PA} Compuesto</i></p> <p><i>+ Total Sustancia química en Banco • EF_B Compuesto</i></p>

Donde:

Consumo Neto = consumo neto para la aplicación

EF Compuesto_{PA} = factor de emisión compuesto para la aplicación, para el primer año

Total sustancia química en banco = banco de la sustancia química para la aplicación

EF_B Compuesto = factor de emisión compuesto para la aplicación, para el banco

Los factores compuestos de emisión se determinan calculando un promedio de los factores de emisión de sub-aplicación que corresponda, ponderado según la actividad de cada sub-aplicación. Los factores de emisión de las sub-aplicaciones pueden ser específicos del país, si se conocen, o pueden ser factores por defecto. En la práctica, si se conocen los datos de una sub-aplicación, los compiladores del inventario optarán por un Nivel 2 (enfoque desagregado). Si sólo se conocen los datos al nivel de la aplicación, se pueden emplear los factores de emisión compuestos proporcionados por otros estudios, o los factores de emisión compuesto por defecto proporcionados en este capítulo.

Nivel 1b – Enfoque por equilibrio de masas al nivel de aplicación

El enfoque por equilibrio de masas estima también las emisiones procedentes del ensamblado, la operación y la eliminación pero no utiliza factores de emisión. Emplea, en cambio, mediciones del consumo (es decir, las ventas) de cada sustancia química en el país o en la instalación considerada. En general, su uso se limita a los sustitutos de las SAO confinados en sistemas bajo presión. La ecuación general es la siguiente⁶:

<p>ECUACIÓN 7.3</p> <p>ECUACIÓN GENERAL DE EQUILIBRIO DE MASAS PARA EL NIVEL 1B</p> <p><i>Emisiones = Ventas anuales de productos químicos nuevos – (Carga total de los equipos nuevos</i></p> <p><i>– Carga original total de los equipos que se retiran)</i></p>
--

⁶ Condiciones límite: Si no hay una carga neta en la carga total de los equipos, entonces las ventas anuales son iguales a las emisiones. Si la carga neta en la carga total de los equipos es igual a las ventas anuales, entonces las emisiones son nulas.

La industria necesita comprar sustancias químicas nuevas a los fabricantes para reemplazar las fugas (vale decir, las emisiones) de los equipos actualmente existentes o que los equipos funcionen adecuadamente. Si las existencias de equipos no cambian de un año al otro, sólo el consumo anual de sustancias químicas puede proporcionar una estimación razonable de las fugas o emisiones reales. Sin embargo, el total de las existencias de equipos, y de las cargas que contienen, cambian de un año para otro. Parte de los equipos nuevos que contienen una sustancia química se introduce cada año y parte de los equipos antiguos, originalmente cargados, se retiran cada año de las existencias. Si la carga química total confinada en todos los equipos aumenta como resultado de este recambio anual, el consumo químico anual total sobreestima las emisiones (es decir, la carga confinada en los equipos nuevos es mayor que la carga original de los equipos que se retiran). Por el contrario, si la carga química total de todos los equipos disminuye, el consumo químico anual total subestimaré las emisiones.

Por lo tanto, para hacer un buen uso de los datos sobre las ventas anuales de sustancias químicas nuevas es necesario también estimar la carga total confinada en los equipos nuevos y la carga original confinada en los equipos que se retiran. La carga total de los equipos nuevos menos la carga original total de los equipos que se retiran representa el cambio neto en la carga de las existencias de los equipos. (Al usar el enfoque del equilibrio de masas, para calcular las emisiones *no* es necesario conocer la cantidad total de cada sustancia química presente en las existencias de los equipos.) Cuando el cambio neto es positivo, parte de la sustancia química nueva se está utilizando para satisfacer el aumento de la carga total y, por lo tanto, no se puede considerar que esta parte reemplace a las emisiones del año anterior.

La industria necesita también sustancias químicas nuevas para reemplazar el gas destruido y para constituir reservas. Además, no todos los equipos reciben un mantenimiento anual. A la ecuación general se le pueden agregar términos que den cuenta de estos factores, pero típicamente, éstos no se adoptan en los métodos simples de Nivel 1b.

Este enfoque se aplica más directamente a los equipos a presión utilizados en las aplicaciones de refrigeración, aire acondicionado y protección contra incendios, pues para éstos ocurre que las ventas de sustancias químicas están destinadas, como regla general, a compensar las emisiones operativas. Sin embargo, dado que el método básico es relativamente simple de aplicar, lo más típico es extender el enfoque al nivel de las sub-aplicaciones (es decir, a un método de Nivel 2b). En la descripción correspondiente a cada aplicación se proporcionan elaboraciones y modificaciones a este enfoque. En la práctica, lo más común es que los métodos de Nivel 1b se empleen para cotejar mejor los resultados de los métodos de Nivel 1a. Para los casos en los que faltan datos sobre el Consumo Neto básico, se han desarrollado bases de datos regionales e internacionales y modelos que atribuyen las ventas de sustancias químicas a los diferentes usos finales (sub-aplicaciones) al nivel de un país. Por lo tanto, estos recursos se pueden utilizar para extraer los datos pertinentes.

MÉTODOS DE NIVEL 2 – EMPLEADOS AL NIVEL DE LAS SUBAPLICACIONES

Existen dos versiones del método de Nivel 2 y ambos implican cálculos de emisiones para cada sustancia química individual y tipos de productos o equipos definidos al nivel de las sub-aplicaciones o dentro de una sub-aplicación. Los sustancias químicas individuales y los productos y/o equipos dentro de una sub-aplicación forman una matriz, descrita previamente en esta sección, y su análisis es comparable con los métodos empleados actualmente por el Estudio de aceptabilidad ambiental de los fluorocarbonos alternativos (AFEAS, del inglés, *Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study*) para los CFC, HCFC y los HFC (McCulloch, Midgley y Ashford, 2001 and 2003; Ashford, Clodic, Kuijpers y McCulloch, 2004).

Ambas versiones de la metodología de Nivel 2 cumplen las dos etapas generales siguientes:

- i. Cálculo o estimación de la serie temporal del consumo neto de cada HFC y PCF a un nivel relativamente detallado de productos y de equipos con el fin de establecer las bases del consumo para el cálculo de las emisiones. (p. ej., refrigeradores, otros equipos de refrigeración y aire acondicionado estacionarios, espumas instaladas en electrodomésticos, paneles aislantes, aislantes de tuberías, etc.)
- ii. Estimación de las emisiones mediante los datos de la actividad y los cálculos obtenidos para los bancos, derivados de la etapa (i), así como los factores de emisión que reflejan, ya sea las características únicas de emisión relacionadas con los diversos procesos, productos y equipos (Nivel 2a), o bien, para sostener el enfoque por equilibrio de masas, la información pertinente sobre los equipos nuevos y los que se retiran al nivel de las sub-aplicaciones (Nivel 2b).

La diferencia que existe entre el Nivel 2a y el Nivel 2b es la misma que se da entre el Nivel 1a y el Nivel 1b – en concreto, que los métodos de Nivel 2a emplean un enfoque por factor de emisión, mientras que los métodos de Nivel 2b obedecen a un enfoque por equilibrio de masas. Sin embargo, ambos necesitan ser implementados a un nivel de desagregación apropiado para el método de Nivel 2, típicamente al nivel de las sub-aplicaciones, por lo menos.

Si se dispone de los datos requeridos, para estimar las emisiones de los sustitutos de las SAO es preferible un método de Nivel 2, en particular cuando las sub-aplicaciones dentro del área general de aplicación son relativamente heterogéneas. Algunos países pueden disponer ya de la información pertinente para aplicar una metodología de Nivel 2. En la actualidad, puede suceder que otros países no tengan todavía acceso a los datos necesarios para el Nivel 2, pero se los alienta a poner en práctica procedimientos para recopilar los datos específicos del país o los datos derivados de la actividad regional o mundial, por sustancia química y por sub-aplicación, dentro del área de la aplicación (p. ej., los diferentes tipos de sub-aplicaciones de refrigeración y de aire acondicionado). Por contraste, el Nivel 1 requiere una recopilación de datos a un nivel de aplicación más agregado (p. ej., la refrigeración y el aire acondicionado en su totalidad).

Al usar un método de Nivel 2, uno de los primeros pasos que los países pueden decidir implementar es obtener una aproximación de primer orden sobre la información requerida para la etapa (i). Esto orientará los esfuerzos para una recopilación más focalizada en ciertas áreas de aplicaciones o sub-categorías. En el Cuadro 7.3 se presentan ejemplos de la distribución del consumo entre los HFC/PFC al nivel de la aplicación en 2002 para varias áreas de aplicación en algunos países seleccionados. Dado que para algunas aplicaciones los HFC y los PFC se han introducido en el mercado sólo recientemente, el volumen relativo del consumo en cada aplicación continuará cambiando con el tiempo y deberá ser actualizado regularmente al nivel de los países.

País	Refrigeración y aire acondicionado	Soplado de espumas	Solvente ^b	Protección contra incendios ^b	Propulsor de aerosoles ^b	Otras aplicaciones ^b
Austria	18%	81%	0%	1%	0%	0%
Dinamarca	81%	18%	0%	0%	1%	0%
Noruega	72%	11%	0%	16%	1%	0%
Suecia	48%	42%	0%	4%	6%	0%
Reino Unido	31%	22%	0%	9%	38%	0%

^a Datos declarados por la CMNUCC para 2002 y reafirmados en 2004

^b No siempre una declaración nula refleja una ausencia de uso, sino que puede reflejar una declaración realizada en otras categorías.

En esta sección, la *orientación de buenas prácticas* se ocupa de las variaciones del método de Nivel 2. Los métodos de Nivel 1 explicados anteriormente se consideran métodos por defecto para los casos en los que la aplicación no corresponda a una *categoría principal* y cuando la disponibilidad de los datos sea limitada. (Excepcionalmente, en los casos en que la Protección contra incendios esté identificada como una *categoría principal*, se empleará el método de Nivel 1a con datos de la actividad y un factor de emisión específicos del país.) En cada sub-sección de las Secciones 7.2 a 7.7 se estudia cómo aplicar estos métodos a las aplicaciones de SAO específicas, se revisan las fuentes de datos existentes y se identifican los vacíos que se observan en éstos.

Nivel 2a – Enfoque del factor de emisión

Los datos específicos del país que se requieren para el enfoque de Nivel 2a se derivan de la cantidad de productos y de usos finales pertinentes para cada sub-aplicación en la cual los sustitutos de las SAO están confinados y desde la cual estos sustitutos son finalmente emitidos. Para aplicar este enfoque se requiere información sobre la cantidad de unidades de equipos o productos que usan estas sustancias químicas, el promedio de las cargas químicas, el promedio de vida útil, los índices de emisión, el reciclado, la eliminación y otros parámetros pertinentes. Esta información se recopila generalmente al nivel de grupos definidos de productos o equipos (p. ej., para las espumas rígidas: piel integral, paneles continuos y discontinuos, electrodomésticos, productos de espumas inyectadas y otros). Las emisiones anuales se estiman luego como una función de estos parámetros a lo largo de la vida útil de las unidades o productos mediante la aplicación de los factores de emisión pertinentes para las fases del ciclo de vida útil. Dado que los equipos y otros productos varían significativamente en términos de la cantidad de sustancia química utilizada, de la vida útil en servicio y de los índices de emisión, la caracterización de estos equipos puede ser una tarea que exige un uso intensivo de los recursos. Mientras más longevidad presente el uso final de un equipo o producto, y mientras más diversos sean los tipos de equipos o de productos dentro de una sub-aplicación en particular, más complejo deberá ser el enfoque de los datos de fuentes originarias para que dé cuenta de las emisiones. Sin embargo, el enfoque puede proporcionar una estimación exacta de las emisiones si, para todos los tipos y antigüedades pertinentes de los equipos o productos, se dispone de los datos requeridos por la ecuación siguiente:

ECUACIÓN 7.4

$$\begin{aligned} \text{ECUACIÓN RESUMIDA DE EMISIONES BASADA EN LAS FASES DEL CICLO DE VIDA ÚTIL} \\ \text{Emisiones totales de cada PFC o HFC} = & \text{Emisiones de la fase ensamblado/fabricación} \\ & + \text{Emisiones de la fase operación} \\ & + \text{Emisiones de la fase eliminación} \end{aligned}$$

Las *emisiones de la fase de fabricación o de ensamblado* ocurren como emisiones fugitivas cuando se llenan los equipos nuevos por primera vez con una sustancia química o cuando se fabrica un producto. Las *emisiones de la fase operacional* desde los equipos o productos ocurren como fugas o por difusión durante la fase de uso del producto o equipo (incluido el mantenimiento). En algunos casos, durante la operación pueden producirse incluso liberaciones intencionales. Por último, las *emisiones de la fase eliminación* pueden ocurrir cuando el equipo o producto llega al término de su vida útil y es desmantelado y eliminado. En este caso, los HFC y/o PFC que permanecen en el producto o equipo pueden escaparse hacia la atmósfera, reciclarse o quizá ser destruidos.

Al igual que para el método de Nivel 1a, en algunas aplicaciones es necesario prever el desarrollo de bancos. Esto puede conducir a múltiples y complejos cálculos al nivel de las sub-aplicaciones, pues la dinámica de los bancos puede variar considerablemente. Sin embargo, debido a que los algoritmos individuales dependen de cálculos secuenciales simples para determinar el consumo que no se emite (esto es, consumo – emisiones para cada año sucesivo), con un modelo nacional bien concebido y bien mantenido pueden obtenerse excelentes estimaciones de las emisiones.

La necesidad de actualizar anualmente los inventarios de equipos y productos puede constituir uno de los mayores desafíos para los compiladores de inventarios que poseen recursos limitados. Si se dispone de un conjunto exhaustivo de otros parámetros del mercado (p. ej., la cantidad de refrigeradores domésticos producidos, etc.), puede resultar innecesario recopilar los datos de consumo químico anual y este desafío se verá algo aliviado. En algunos países o regiones, las asociaciones comerciales pueden ser fuentes significativas de tales datos. En el caso contrario, puede ser necesario un estudio de mercado específico. Allí donde estos parámetros de mercado son la fuente principal de datos de la actividad, la magnitud potencial de los errores que se pueden introducir a través de pequeñas discrepancias al nivel de las unidades hace que sea una *buena práctica* cotejar los datos sobre el consumo químico, como medio de proporcionar garantía de calidad. En este capítulo, en las secciones correspondientes de GC/CC, se brinda una orientación sobre cómo realizar estos cotejamientos para cada aplicación pertinente.

Para limitar el esfuerzo en materia de gestión de datos, tanto para los datos de consumo anual como para el estado de los bancos, es posible acceder a las bases de datos internacionales y regionales que contienen dicha información, con el fin de explotar las entradas de datos validadas al nivel mundial o regional que permitan mantener un modelo nacional. Estas bases de datos pueden ayudar también a superar cualquier barrera de confidencialidad que pueda surgir al recopilar y/o publicar datos de nivel nacional, en particular cuando la cantidad de proveedores es reducida. En la Sección 7.1.2.4 y en el Recuadro 7.1 se proporciona más información sobre el uso de tales bases de datos.

Aun cuando existan datos exhaustivos de la actividad específicos para un país, es una *buena práctica* realizar comparaciones de referencia de los resultados con las evaluaciones realizadas a partir de las bases de datos con datos derivados al nivel mundial o regional. Se debe hacer anualmente, pero puede abordarse razonablemente cada 2 ó 3 años. Esto permite analizar las discrepancias significativas y tomar las medidas adecuadas para resolverlas.

Nivel 2b – (Enfoque por equilibrio de masas)

Los enfoques por equilibrio de masas de Nivel 2 son similares a los descritos para el Nivel 1b, excepto que el proceso se implementa al nivel de las sub-aplicaciones. Es un enfoque particularmente valioso para el sector de la refrigeración, donde hay una cantidad significativa de sub-aplicaciones relativamente heterogéneas. Como es también el caso de los métodos de Nivel 1, no es inusual que se empleen enfoques por equilibrio de masas en combinación con enfoques por factor de emisión, para garantizar que los resultados obtenidos sean lo más sólidos posibles. Estos enfoques pueden ser descritos realísticamente como métodos híbridos de Nivel 2a/b y cuando aparezcan en las subsiguientes secciones pertinentes dedicadas a las aplicaciones específicas, serán identificados como tales.

Dado que en los enfoques por equilibrio de masas se requieren también los datos de la actividad al nivel de las sub-aplicaciones, para obtener datos apropiados y validados al nivel mundial o regional puede ser más rentable utilizar las bases de datos mundiales o regionales. A los métodos de Nivel 2b se les aplican los mismos criterios de selección que a los métodos de Nivel 2a. Por lo tanto, se deben tomar las mismas precauciones al seleccionar los conjuntos de datos validados.

7.1.2.3 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Todos los métodos que emplean el Enfoque A necesitan factores de emisión. En términos generales, los factores de emisión pueden ser de dos tipos:

1. Factores de emisión derivados de las mediciones efectivas de los productos o equipos al nivel nacional durante las diferentes fases de su ciclo de vida útil (*específicos de los países*).

o

2. Factores de emisión inferidos a partir de la experiencia más amplia al nivel mundial o regional (p. ej., *por defecto*)

El tipo de factor de emisión requerido depende del nivel de homogeneidad dentro de una sub-aplicación, del Nivel del enfoque que se esté implementando, de la dependencia de los factores de emisión respecto de las prácticas aplicadas, de la función que desempeñan los bancos y de la probabilidad de incidencia de circunstancias nacionales específicas. En algunos casos, la aplicación será o podrá ser considerada razonablemente totalmente emisiva, en cuyo caso el consumo neto para un año determinado corresponderá a la estimación de las emisiones para ese año (p. ej., muchas de las aplicaciones de aerosoles). Normalmente, en una situación como ésta, un factor de emisión por defecto será perfectamente adecuado. Sin embargo, en la mayoría de los casos que implican a los sustitutos de las SAO, se anticipa un retardo en las emisiones. En consecuencia, los factores de emisión deberán ser más sofisticados, en particular cuando se emplean al nivel de las sub-aplicaciones (Nivel 2).

Debido a que los métodos de Nivel 1 operan típicamente al nivel de las aplicaciones, es necesario utilizar factores de emisión compuestos, lo cual puede efectuarse sobre la base de los promedios ponderados de factores de emisión conocidos para la sub-aplicaciones (específicos del país o por defecto), o bien sobre la base de enfoques aproximativos validados. Puesto que la intención es que los métodos de Nivel 1 sean simples de aplicar, los compiladores del inventario tienen la opción de utilizar los factores de emisión compuestos existentes basados en el trabajo de otros. Los enfoques de Nivel 1a esbozados en las Secciones 7.2 a 7.7 ofrecen esta posibilidad.

Para los métodos de Nivel 2, los compiladores del inventario deben estar al tanto de las circunstancias específicas que afectan a las sub-aplicaciones en sus países. Aunque los tipos de productos y de equipos puedan ser similares en toda una región, o incluso mundialmente, pueden existir diferencias significativas en los factores de emisión a lo largo del ciclo de vida útil del producto o equipo. Tales diferencias pueden surgir de los factores climáticos, de los métodos de construcción, de los enfoques de la reglamentación y, en particular, de los métodos de mantenimiento cuando corresponda. Un factor adicional que debe ser considerado en muchos países es el de la gestión de la eliminación de los productos y equipos al término de su vida útil, lo cual puede ejercer un efecto profundo en el total de las emisiones. Las sustancias químicas que permanecen en los sistemas es esta etapa pueden constituir el 90 por ciento o más de la cantidad originalmente utilizada. En las secciones pertinentes sobre las aplicaciones se abordan los problemas específicos relacionados con los factores de emisión.

Por esto, los compiladores del inventario deben garantizar que sus derivaciones tomen en consideración estas

fuentes potenciales de variaciones. A menudo, la mejor manera de hacerlo es comparando las selecciones con las escogidas por otros países con circunstancias similares. En este capítulo, este tema se destaca en las secciones específicas dedicadas a las aplicaciones, cuando se considera que la variación de los factores de emisión es significativa (p. ej., la distinción entre la experiencia de los países desarrollados y la de los países en desarrollo con equipos de refrigeración).

Un soporte adicional para los compiladores del inventario es la inclusión de los factores de emisión más significativos en la base de datos de factores de emisión (EFDB) administrada por el IPCC. Un amplio proceso de revisión editorial garantiza que los factores de emisión enumerados en la EFDB hayan sido examinados adecuadamente para asegurar su solidez. Dado que los factores de emisión de la EFDB tienden a ser ajustados menos frecuentemente que los datos de la actividad derivados mundial o regionalmente, en general el proceso de revisión puede mantenerse al día con los desarrollos, lo cual garantiza que los valores listados sean muy actuales.

7.1.2.4 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Para los sustitutos de las SAO, los datos de la actividad consisten en las cantidades netas de cada sustancia química que se consume anualmente en un país en una aplicación, en una sub-aplicación o en los tipos más detallados de equipos y/o productos. Al adoptar un método de Nivel 2a, a menudo es necesario recopilar los datos de la actividad para la cantidad de unidades de un tipo particular de equipo o producto existente, con el fin de estimar la cantidad de sustancias químicas consumidas o que se integra a los bancos.

Allí donde sea probable que se produzcan bancos de sustancias químicas, es necesario también disponer de información sobre los patrones históricos de consumo neto anual, ya sea a partir del año de introducción de la sustancia química o a lo largo de la vida útil promedio de los productos o equipos dentro de la aplicación o sub-aplicación. Esto permite calcular el banco acumulativo en los casos en los que deban aplicarse los factores de emisión (métodos de Nivel 1a o 2a).

Como se ha indicado anteriormente, al estimar el consumo no se debe incluir el reprocesamiento de los fluidos recuperados. Las importaciones y las exportaciones incluyen no sólo las sustancias químicas a granel, sino, en particular para los métodos de Nivel 2, pueden incluir también las sustancias químicas confinadas en los productos, como los refrigeradores, acondicionadores de aire, materiales de embalaje, espumas aislantes, extintores de incendio, etc., según que se haya empleado o no una asignación regional. Por lo general, resulta manifiestamente difícil obtener datos sobre los HFC y los PFC confinados en los productos o equipos, a menos que se haya establecido un régimen aduanero específico para abordar este tema. Si se llega a instaurar esta práctica, lo será probablemente sólo en conjunción con la implementación de un método de Nivel 2 y es improbable que esté disponible para los métodos de Nivel 1, lo cual hace que tenga una importancia excepcional disponer de los datos derivados mundial o regionalmente, al menos para cotejarlos, si se espera un comercio significativo de productos o equipos.

Estos datos sobre consumo neto (actividad) derivados mundial o regionalmente pueden obtenerse de los conjuntos de datos existentes en las bases de datos regionales y mundiales. Bajo este enfoque, los datos sobre ventas de sustancias químicas se atribuyen a veces a partir de información de consumo regional más amplia, sobre la base de algunos factores geo-económicos tales como población, PIB o número de viviendas. Al emplear este método de atribución basado en el mercado, puede no ser necesario tomar en cuenta los HFC y los PFC confinados en los productos importados o exportados, si el tratamiento regional implica la anulación del comercio neto intra-regional (es decir, si las importaciones y exportaciones de productos que contienen HFC y PFC dentro de una región están aproximadamente equilibradas). Si el comercio extra-regional es significativo, entonces los HFC y los PFC confinados en los productos deberán ser considerados más cuidadosamente.

Puesto que los datos de la actividad son más proclives al cambio anual que los factores de emisión, la fuente de los datos derivados mundial o regionalmente que utilicen los compiladores del inventario tiene que ser actualizada con regularidad. Las bases de datos mundiales fiables que ofrecen esta información se cotejan regularmente con los datos sobre ventas mundiales para las sustancias químicas y las sub-aplicaciones individuales, lo que garantiza así una validación regular. Al acceder a estas bases de datos, es una *buena práctica* que los compiladores del inventario garanticen que la información que reciben haya sido validada de esta manera. Como se indica en el Recuadro 7.1, Bases de datos mundiales y regionales para los sustitutos de las SAO, la inclusión en la EFDB del IPCC indica la adhesión general al proceso debido, pero es una *buena práctica* que los países garanticen que todos los datos tomados de la EFDB sean los apropiados para sus propias circunstancias nacionales.

Consideraciones específicas para recopilar los datos de la actividad específicos del país.

La recopilación de datos de la actividad específicos del país requiere un inventario del consumo neto de los HFC y/o PFC para cada sustancia química y, cuando las emisiones son retardadas respecto del consumo, un inventario

de las sustancias químicas confinadas en los bancos. Algunos compiladores del inventario pueden tener acceso a los datos nacionales publicados en revistas comerciales o en informes técnicos. Si estos datos no están directamente disponibles, pueden estimarse mediante un estudio especial para estimar el inventario de las unidades o sustancias químicas existentes. Los grupos de expertos pueden facilitar también la generación de esta información. Hay que preocuparse de garantizar que se comprende el alcance de todo conjunto de datos que se haya citado y que toda carencia restante ha sido identificada.

Los compiladores del inventario pueden decidir también realizar estudios anuales para actualizar sus inventarios sobre los diferentes equipos y/o productos. Una alternativa para esto puede consistir en calcular o estimar el crecimiento de la producción para cada una de las sub-aplicaciones consideradas. Los datos tienen que reflejar las nuevas unidades que se introducen cada año y las unidades antiguas o en mal estado de funcionamiento que se retiran.

Los datos sobre el uso nacional de sustancias químicas se obtienen más fácilmente que los datos sobre la cantidad de equipos responsables de las emisiones, siempre y cuando no intervengan restricciones de confidencialidad. Siempre es una *buena práctica* obtener datos sobre el total de las ventas anuales a partir de los fabricantes o de los importadores de sustancias químicas. Es probable que las mejores fuentes de datos sobre la carga total de los equipos nuevos sean los fabricantes de equipos o las asociaciones comerciales que los representan. Para el caso de la carga total de los equipos que se retiran, es esencial estimar u obtener información sobre (i) la vida útil de los productos y/o equipos y, (ii) ya sea, (a) las ventas históricas de productos y/o equipos y el promedio histórico del tamaño o la formulación de la carga acumulada, o bien, (b) la tasa de crecimiento de tales ventas y tamaños de las cargas durante el periodo en cuestión, allí donde esta información se conozca para el año en curso.

Es probable que los compiladores del inventario de los países que importan todos o la mayoría de las sustancias químicas nuevas consumidas se confronten a diferentes problemas de disponibilidad de los datos, en comparación con los de aquellos países con una producción nacional significativa de sustancias químicas. Si la mayoría de las sustancias químicas son importadas, ya sea a granel o dentro de los equipos y productos, para calcular las emisiones será necesario disponer de algunos datos sobre las importaciones. En el caso ideal, las autoridades aduaneras deberían actualizar y poner a disposición las estadísticas sobre importaciones de sustancias químicas. Para algunos productos, como las espumas y los aerosoles, puede suceder que las autoridades aduaneras no estén en condiciones de determinar el tipo de sustancia química confinada en el producto (p. ej., los hidrocarburos versus los HFC en los aerosoles) ni la presencia de la sustancia en los equipos importados (p. ej., las espumas de celdas cerradas en los refrigeradores). En tales casos, puede ser necesario recopilar o estimar los datos con ayuda de los distribuidores más importantes y de los usuarios finales.

Como ya se ha indicado previamente en esta Sección, la capacidad de obtener los datos de la actividad específicos del país y la información sobre los bancos sobre una base coherente al nivel del país, puede verse restringida por problemas tales como la confidencialidad, la falta de redes industriales consumidoras y la falta de información comercial sobre los productos que contienen HFC y/o PFC. A menudo, la conciliación de datos se logra mejor recurriendo al nivel regional e incluso, en algunos casos, al nivel mundial. Nótese, a propósito de este comentario, que el uso de datos específicos del país y de datos derivados mundial o regionalmente no constituye específicamente una elección de «uno o el otro». En muchos casos, el desarrollo de un inventario general de un país puede basarse en una combinación de datos obtenidos de ambas fuentes. Como fuere, se estimula activamente, como *buena práctica*, el empleo de unos para verificar los otros.

Consideraciones específicas para el empleo del enfoque por equilibrio de masas (Nivel 1b o 2b)

Para los datos de la actividad requeridos por el enfoque por equilibrio de masas (Nivel 1b o 2b), la atención se concentra en el despliegue de las sustancias químicas en vez de en las fuentes de las emisiones. Estos datos de la actividad incluyen las ventas anuales de sustancias químicas nuevas, la carga total de los equipos nuevos y la carga total de los equipos que se retiran. Si no se dispone de estos datos al nivel nacional, se pueden usar los datos derivados mundial o regionalmente, al igual que para el Enfoque A (enfoque por factor de emisión). Dado que el enfoque por equilibrio de masas suele estar reservado para las aplicaciones de los equipos bajo presión en la refrigeración, aire acondicionado y protección contra incendios, es útil saber que para éstos ya existen bases de datos completas a nivel mundial.

Dependencia temporal de los datos contenidos en estas Directrices

Los productos y equipos en los cuales se emplean sustitutos de la SAO han cambiado significativamente a través del tiempo y se espera que estos cambios continúen. En consecuencia, se debe recordar que, para los datos de la actividad y los factores de emisión por defecto contenidos en estas *Directrices*, al determinar las emisiones globales, los datos de la actividad resultan componentes más volátiles que los factores de emisión. Por lo tanto, toda información por defecto sobre la actividad contenida aquí, «envejecerá» más rápidamente y conducirá a mayores inexactitudes con el paso del tiempo, a menos que se vayan haciendo ajustes adecuados al crecimiento

del mercado. Las bases de datos mundiales y regionales sobre los sustitutos de la SAO, indicadas en el Recuadro 7.1, generalmente reflejan estos cambios. En los casos en los que las transiciones de las SAO estén todavía previstas para el futuro, la adopción de datos estáticos sobre la actividad puede conducir a errores muy significativos en las proyecciones sobre las emisiones.

7.1.2.5 EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad está asegurada en gran medida para los sustitutos de las SAO como resultado del empleo de patrones de uso bien documentados respecto de las SAO en sí mismas y por el hecho que los datos de la actividad, evaluados al nivel de las aplicaciones y de las sub-aplicaciones, pueden validarse por comparación con el total de las ventas de sustancias químicas. Éste es particularmente el caso de los HFC y de los PFC que se emplean sólo como sustitutos de las SAO. Sin embargo, es importante aún poder identificar todos los HFC y PFC en uso. En el Cuadro 7.1 se presenta un panorama general de los principales HFC y PFC que han de ser considerados, pero la lista puede no ser exhaustiva cuando se trate de componentes de mezclas, los cuales poseen a menudo una composición compleja.

Existe un conjunto de emisiones que no está cubierto rutinariamente por esta categoría de fuente y es el de las emisiones que surgen de la producción de sustancias químicas en sí. Sin embargo, los métodos para evaluar estas emisiones están cubiertos en el Capítulo 3, Sección 3.10.

Es posible que las emisiones sobrepasen el consumo (la actividad) de un año determinado, debido a las emisiones provenientes de los bancos acumulados y, por lo tanto, la exhaustividad de las declaraciones de emisiones puede establecerse sólo con los enfoques de Nivel 2, graficando las emisiones acumulativas versus la actividad acumulativa para la totalidad del periodo en que se ha producido el consumo y las consiguientes emisiones (es decir, el consumo acumulativo es igual a las emisiones acumulativas, más el banco actual y menos la destrucción acumulativa).

7.1.2.6 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Se estimula a los compiladores del inventario que hayan preparado estimaciones básicas (de Nivel 1) en el pasado, a desarrollar las capacidades para preparar estimaciones de Nivel 2 en el futuro. Es una *buena práctica* garantizar que en la misma serie temporal se incluyan sólo las estimaciones de las emisiones reales. Si han cambiado de enfoque, los compiladores del inventario deben recalcular las emisiones históricas con el método preferido real. Puesto que todos los enfoques de Nivel 1 y Nivel 2 son ahora métodos para emisiones reales, la mezcla de los enfoques para las diferentes aplicaciones o sub-aplicaciones no constituye un problema. Sin embargo, si anteriormente se han utilizado emisiones potenciales, debe recalcularse la serie temporal. Si no se dispone de datos, para garantizar la coherencia hay que reconciliar ambos métodos, siguiendo la orientación del Volumen 1 Capítulo 5 sobre la repetición de los cálculos. Para garantizar la transparencia, es una *buena práctica* proveer una documentación completa sobre esta repetición.

Generalmente, los factores de emisión provienen de los datos históricos sobre otras sustancias químicas (p. ej., los CFC) utilizados en los mercados establecidos. Cuando se incorporan nuevas sustancias químicas (p. ej., los sustitutos de la SAO), es preciso adaptar estos factores. Actualmente se dispone de datos nacionales sobre la implementación del año de base (o pueden calcularse con una incertidumbre conocida).

7.1.3 Evaluación de incertidumbre

Durante un largo periodo (más de 50 años en algunas aplicaciones) las emisiones acumulativas de los sustitutos de la SAO al interior de un país tienden a igualar el consumo acumulativo en el mismo periodo, a menos que se practique una significativa recuperación al término de la vida útil. Para un año dado, es muy difícil estimar la cuantificación de la incertidumbre para las SAO, debido al gran número de fuentes diferentes y a la diversidad de los patrones de emisión. Para los métodos de Nivel 1b y 2b, la incertidumbre general estará relacionada directamente con la calidad y la exhaustividad de los datos sobre ventas e importaciones de sustancias químicas, ya sea al nivel de las aplicaciones o al de las sub-aplicaciones. Estos factores serán igualmente importantes para los métodos de Nivel 1a, pero en este caso habrán fuentes adicionales de incertidumbre debidas al empleo de factores compuestos de emisión y al uso de otras hipótesis para completar los algoritmos específicos. Para el método de Nivel 2a, la incertidumbre reflejará la exhaustividad de la inspección de los equipos y la adecuación de los factores de emisión desarrollados para caracterizar las emisiones al nivel de las sub-aplicaciones. En las secciones separadas que tratan de las seis áreas subsiguientes de aplicación, se proporcionan más consejos relativos a las incertidumbres.

7.1.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), Generación de informes y documentación para todas las aplicaciones de los sustitutos de las SAO

7.1.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD (GC/CC) PARA TODOS LOS SUSTITUTOS DE LAS SAO

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, así como procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de estas aplicaciones o sub-aplicaciones se utilizan métodos de nivel superior. Se estimula a los compiladores del inventario a utilizar procedimientos de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4. Más abajo se esbozan procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente, como complemento de la orientación del Volumen 1.

Aun cuando se pongan en práctica estas medidas para manejar los datos de la actividad, los datos sobre las emisiones reales no se conocerán nunca con exactitud, independientemente del grado de refinamiento de los métodos de estimación. Por lo tanto, para lograr la concordancia a través del tiempo, debe efectuarse a intervalos regulares un cotejamiento de las cifras sobre las emisiones integradas con el consumo neto real de los HFC y/o PFC, junto con una evaluación del contenido de los bancos durante el mismo periodo, así como un reajuste de los factores de entrada.

Comparación de las estimaciones de emisiones obtenidas mediante los diferentes enfoques

Cuando sea apropiado, los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones basadas en los equipos y/o productos al nivel de las sub-aplicaciones (Nivel 2a) con los resultados del enfoque por equilibrio de masas de Nivel 1b o 2b, pues los factores de emisión al nivel de los productos poseen una incertidumbre asociada intrínseca. Esta técnica también minimiza la probabilidad de que algunos usos finales no sean tomados en cuenta en los enfoques basados en los equipos y/o productos.

Estimación de las emisiones potenciales como situación hipotética de referencia

Los compiladores del inventario pueden utilizar también una situación hipotética de referencia con emisiones potenciales para verificar las estimaciones reales de Nivel 1 o de Nivel 2. Al considerar el desarrollo de modelos de contabilización que pongan en concordancia las estimaciones de las emisiones potenciales y de las emisiones reales, con el tiempo, los compiladores del inventario podrán mejorar la determinación de los factores de emisión específicos del país. Cuando se aborde conjuntamente con las estimaciones de las emisiones reales, a partir de la determinación de las concentraciones atmosféricas, esta situación de referencia puede ayudar a monitorear el crecimiento de los gases de efecto invernadero confinados en los bancos, producto de los retardos en las emisiones y, por lo mismo, a mantener un seguimiento de los probables inconvenientes ambientales futuros. Este medio crucial de verificación por equilibrio de masas es particularmente efectivo para los HFC y los PFC, debido a sus características únicas y a la falta de fuentes naturales.

Las emisiones potenciales de una cierta sustancia química son iguales a la cantidad de sustancia química virgen consumida en el país anualmente menos la cantidad de sustancia química recuperada para la destrucción o la exportación durante el año considerado. (Véase la Sección 2 de este volumen.) Todas las sustancias químicas consumidas serán emitidas eventualmente hacia la atmósfera a través del tiempo si no son encapsuladas de manera permanente, convertidas químicamente o destruidas⁷. A largo plazo (más de 50 años para algunas aplicaciones), las emisiones potenciales acumulativas serán iguales a las emisiones efectivas acumulativas en aquellas aplicaciones que cesan de usar los HFC y/o los PFC y en las cuales no se practica ni la captura ni la destrucción.

Dado que para la mayoría de las áreas de utilización, como la refrigeración y las espumas, se piensa que la acumulación es el proceso dominante del presente, los cálculos de las emisiones potenciales sobreestimarán fuertemente las emisiones y resultan inadecuados como método formal aplicable a la generación de los informes anuales.

El error se minimiza cuando transcurre un tiempo suficiente para que los equipos y productos que contienen HFC y/o PFC comiencen a ser retirados, aunque aún entonces, el índice de las emisiones subsiguientes pueda depender de la estrategia escogida para el término de la vida útil. Sin embargo, mientras las emisiones estén retrasadas respecto del consumo y éste siga creciendo, la sobreestimación persistirá. El error es nulo sólo si no hay retardo en las emisiones o si la tasa de crecimiento del consumo es nula durante un periodo largo.

Verificación de los datos nacionales de la actividad

Para el método de Nivel 2, los compiladores del inventario deben evaluar los procedimientos de GC/CC asociados con la estimación de los inventarios de equipos y productos, sean éstos específicos del país o derivados mundial o regionalmente, para garantizar que sean conformes a los procedimientos esbozados en el plan de GC/CC y que se hayan utilizado procedimientos de muestreo representativos. Esto es particularmente importante para los tipos de equipos y/o productos con sustitutos de las SAO, debido al gran tamaño de la población de equipos y productos.

Para el método de Nivel 1b (equilibrio de masas), los compiladores del inventario deben evaluar y referir los procedimientos de GC/CC efectuados por las organizaciones responsables de producir información sobre el despliegue de las sustancias químicas. Los datos sobre las ventas pueden provenir de los fabricantes de gases, importadores, distribuidores o asociaciones comerciales. Si el procedimiento de GC asociado con los datos secundarios es inadecuado, entonces el compilador del inventario debe establecer sus propias verificaciones de GC para los datos secundarios, reevaluar la incertidumbre de las estimaciones de las emisiones derivadas de los datos y reconsiderar la manera de utilizarlos.

Verificación de los factores de emisión

Idealmente, los factores de emisión empleados para el método de Nivel 2a deben estar basados en estudios específicos del país. Cuando se emplee esta metodología, en respaldo de los métodos de Nivel 2a, los compiladores del inventario deben comparar estos factores con los factores por defecto y con todos los valores que puedan estar contenidos en la EFDB o en otras bases de datos. Deben determinar si los valores específicos del país son razonables, dadas las similitudes o diferencias entre las circunstancias nacionales que rodean la sub-aplicación en particular y aquellas que corresponden a las hipótesis para los valores por defecto. Toda diferencia entre los factores específicos del país y los factores por defecto debe ser explicada y documentada.

7.1.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN PARA TODAS LAS APLICACIONES DE LOS SUSTITUTOS DE LAS SAO

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11.

Como se ha discutido más arriba, los compiladores del inventario deben preparar y declarar las estimaciones de las emisiones reales para tantas sub-aplicaciones como sea posible. Esta tarea es asistida actualmente por la disponibilidad de los datos de la actividad derivados mundial o regionalmente en las bases de datos regionales y mundiales (véase el Recuadro 7.1), conjuntamente con los factores de emisión para varias sub-aplicaciones contenidos en la EFDB. En el caso de aquellos tipos de equipos y/o productos para los cuales no es posible

⁷ La destrucción de los fluorocarbonos puede ser costosa, pero existen varios procesos de destrucción recomendados por las Partes del Protocolo de Montreal: la incineración por inyección líquida; la escisión en reactores; la oxidación de gases y/o humos; los incineradores de horno rotatorio, la destrucción por plasma; los incineradores municipales de desechos (sólo para las espumas).

preparar estimaciones de las emisiones reales al nivel de las sub-aplicaciones (es decir, estimaciones de Nivel 2), aún con la ayuda de este soporte adicional, los compiladores del inventario deben preparar y declarar las estimaciones de las emisiones reales utilizando los métodos de Nivel 1, al nivel de la aplicación.

La cuestión del equilibrio entre la preservación de la confidencialidad y la transparencia de los datos debe ser abordada cuidadosamente. Una agregación cuidadosa de los datos puede resolver algunos problemas, pero esto requerirá que los resultados sean validados por otros medios (p. ej., una auditoría por terceros independientes). Cuando los datos se hayan agregado para preservar la confidencialidad de la información que es propiedad industrial, se deben proporcionar explicaciones cualitativas para indicar el método y el enfoque utilizados para la agregación.

7.2 SOLVENTES (SIN AEROSOL)

7.2.1 Sustancias químicas cubiertas en esta área de aplicación

Los HFC se emplean hoy en aplicaciones de solventes en un grado mucho menor que el uso del CFC-113 anterior a su retiro de la circulación y aún se utilizan PFC en raras ocasiones. Los usos de los HFC y/o PFC como solventes se producen en las cuatro principales áreas siguientes:

- (i) Limpieza de precisión;
- (ii) Limpieza en la electrónica;
- (iii) Limpieza de metales;
- (iv) Aplicaciones de deposición.

Los HFC se utilizan típicamente en forma de azótropos u otras mezclas para la limpieza con solvente. El HFC más comúnmente utilizado es el HFC-43-10mee, con algún empleo del HFC-365mfc, el HFC-245fa (como solvente aerosol⁸) y el heptafluorociclopentano (U.S. EPA, 2004b).

Esto permite ajustar el equilibrio entre una limpieza eficaz y la compatibilidad con los materiales que constituyen la pieza trabajada. El material puro no posee la potencia limpiadora del CFC-113, pues no hay átomos de cloro presentes en la molécula. En general, los perfluorocarbonos no son muy útiles para la limpieza, pues son esencialmente inertes, tienen un PCA muy elevado y poco poder para disolver los aceites, excepto los aceites fluorados y las grasas fluoradas utilizadas para la deposición uniforme de materiales que actúan como lubricantes en la fabricación de discos duros. En consecuencia, los PFC se usan muy raramente en el sector de los solventes, como fluidos de inertización para los sistemas de limpieza con 2-propanol (por la sección militar de *British Aerospace*) o en el actualmente obsoleto sistema de co-solventes heterogéneos para el desgrasado avanzado al vapor (AVD, del inglés, *Advanced Vapour Degreasing*). Estos PFC pueden utilizarse como fluidos de inertización y protección para evitar las pérdidas de otros fluidos primarios más costosos en los sistemas de soldadura de doble fluido en fase vapor. Los PFC pueden utilizarse como el único fluido activo en los sistemas de soldadura de fluido simple en fase vapor. En el sector de la fabricación de componentes, se utilizan los PFC para los ensayos de estanqueidad de los componentes sellados. Más información sobre el uso de los PFC en la industria electrónica se encuentra en el Capítulo 6 de este volumen.

En general, los principales fabricantes de PFC han convertido a los antiguos usuarios de los PFC al uso de los HFC o del hidrofluoroéter (HFE) en las aplicaciones de limpieza.

7.2.2 Cuestiones metodológicas

7.2.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Las emisiones provenientes de las aplicaciones de solventes han sido consideradas históricamente como emisiones *rápidas*, pues el 100 por ciento de la sustancia química se emite típicamente dentro de los dos años siguientes al empleo inicial. IPCC (2000). Para estimar las emisiones, en tales casos es necesario conocer la cantidad total de cada HFC o PFC vendido cada año en los productos de solventes. Las emisiones de HFC y PFC provenientes de los usos en solventes pueden calcularse para el año t , de la manera siguiente:

ECUACIÓN 7.5
MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES PARA LOS USOS EN SOLVENTES

$$Emisiones_t = S_t \cdot EF + S_{t-1} \cdot (1 - EF) - D_{t-1}$$

Donde:

Emisiones_t = emisiones en el año t , toneladas

S_t = cantidad de solventes vendidos en el año t , toneladas

S_{t-1} = cantidad de solventes vendidos en el año $t-1$, toneladas

⁸ Las emisiones de los solventes aerosoles se incluyen como aerosol (véase la Sección 7.3).

EF = factor de emisión (= fracción de la sustancia química emitida desde el solvente en el año del uso inicial), fracción

D_{t-1} = cantidad de solventes destruidos en el año $t-1$, toneladas

En el Cuadro 7.1 se indican los HFC y PFC conocidos que se emplean en las aplicaciones de solventes, aunque la *buena práctica* es investigar la situación específica del país en el caso de que surjan aplicaciones no identificadas anteriormente. La extensión de esta búsqueda está facilitada por el hecho de que el compilador del inventario está buscando solamente las aplicaciones en las cuales se usaron las SAO con anterioridad.

El enfoque expresado en la Ecuación 7.5 puede aplicarse, tanto como método de Nivel 1a, o como método de Nivel 2a, pues corresponde al Enfoque A (enfoque por factor de emisión). Que este enfoque se califique como de Nivel 1 o 2 depende de la existencia de sub-aplicaciones identificables dentro de los usos como solvente en el país declarante (p. ej., las cuatro áreas principales identificadas más arriba). Puesto que las tendencias han evolucionado hacia un mayor control ambiental de los solventes, ha aumentado la necesidad de emplear un enfoque de Nivel 2. En algunos casos pueden haber sub-aplicaciones altamente controladas (p. ej., en la industria electrónica de precisión) en las cuales los factores específicos de emisión están completamente caracterizados. Éstos han de tratarse de manera diferente que las aplicaciones de solventes más generales que permanecen basadas en el uso del factor de emisión por defecto. Nótese que la Ecuación 7.5 supone la liberación total del solvente en un plazo de dos años, independientemente del factor de emisión aplicado en el año t . Además, no se consideran ni la recuperación ni el reciclado, lo cual puede constituir un factor para algunas situaciones. Sin embargo, se podrá suponer que la recuperación y el reciclado se verán reflejados, en general, en la reducción de las ventas de los materiales vírgenes. La recuperación y la destrucción consiguiente de los solventes están consideradas, pero en la práctica, es un curso de acción poco probable si se tiene en mente el costo de los materiales involucrados.

7.2.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

El factor de emisión EF representa la fracción de la sustancia química que se emite desde el solvente en el año t . Se supone que la vida útil del producto es de dos años y que, por lo tanto, cualquier cantidad no emitida durante el primer año será emitida, por definición, durante el segundo y probablemente último año. En la Figura 7.2, Árbol de decisión para las emisiones reales provenientes de las aplicaciones de los solventes, se presenta un árbol de decisión para estimar las emisiones reales. El proceso de recopilación de datos se describe en la Sección 7.2.2.3.

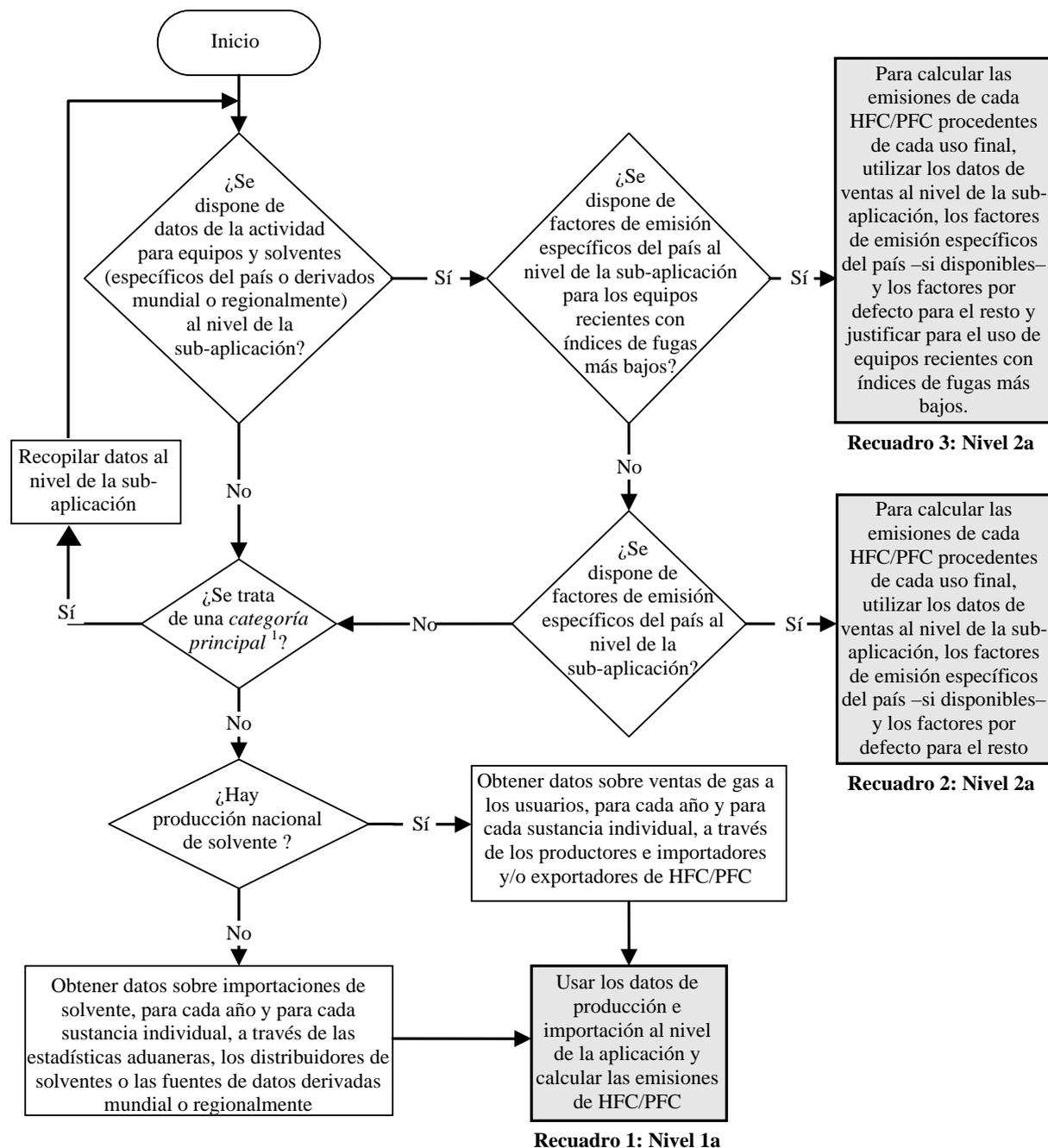
Ante la falta de datos específicos del país, para las aplicaciones de solventes es una *buena práctica* utilizar un factor de emisión por defecto del 50 por ciento de la carga inicial/año.⁹ En algunas aplicaciones con equipos nuevos que incorporan especificaciones de diseño de baja emisión, es muy posible que se logren índices de pérdidas mucho más bajas y que las emisiones ocurran durante un periodo de más de dos años. Para tales situaciones se pueden desarrollar factores de emisión alternativos, utilizando los datos sobre el uso de tales equipos y las pruebas empíricas relativas a los factores de emisión alternativos.¹⁰ Estos factores de emisión específicos del país deben documentarse exhaustivamente (Nivel 2a). La «mezcla» de sistemas manuales de limpieza por lotes y de sistemas automatizados por cinta transportadora dentro de un país o región puede arrojar emisiones muy diferentes. Una atención dedicada a las prácticas de trabajo adecuadas, una organización del área de trabajo y una capacitación adecuada de los trabajadores disminuye las emisiones desde los solventes de manera significativa. Dentro de estos grupos (por lotes o por cinta transportadora), existe una amplia gama de antigüedades en los equipos, de sofisticación en el diseño de baja emisión, diseño de las piezas, tamaño de la carga de las piezas y diligencia en el mantenimiento. Todos estos factores afectarán las emisiones provenientes de una pieza, equipo o región en particular.

Si es posible obtener estimaciones apropiadas sobre los equipos que se reintroducen, se pueden efectuar modificaciones para tomar en cuenta la recuperación y el reciclado de los solventes. Aunque debido a su alto costo, los solventes HFC y PFC pueden recuperarse y reciclarse múltiples veces durante su uso, en la mayoría de los usos finales emisivos (sub-aplicaciones), estas sustancias químicas serán liberadas mucho más rápidamente después de la puesta en uso que las que se utilizan en las aplicaciones de refrigeración sellada.

⁹ Orientación sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

¹⁰ A modo de orientación, respecto de las ventas de equipos nuevos, aproximadamente el 10-20 por ciento puede ser emitido con el resto del solvente utilizado para llenar el equipo. En los años subsiguientes, las ventas se destinan a la mantención del llenado y pueden considerarse como emitidas en un 100 por ciento.

Figura 7.2 **Árbol de decisión para las emisiones reales provenientes de las aplicaciones de los solventes**



Nota :

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

7.2.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

La Ecuación 7.5 debe aplicarse a cada sustancia química individualmente y, según la desagregación de los datos disponibles, puede ser apropiado evaluar el consumo neto de cada sustancia química por sub-aplicación (Nivel 2a). Donde sea posible, los datos de la actividad deben recopilarse directamente de los proveedores de solventes o de los usuarios, en respaldo de los métodos, de Nivel 1a o 2a. Sin embargo, donde esto no sea posible, se pueden utilizar los datos de la actividad derivados mundial o regionalmente al nivel de la aplicación o al nivel de la sub-aplicación si están disponibles.

Los datos de la actividad para este uso final son iguales a la cantidad de cada sustancia química pertinente que se vende como solvente en un año en particular. En consecuencia, los datos sobre las cantidades de solvente, tanto nacional como importado, deben recopilarse desde los proveedores. Según el carácter de la industria nacional de solventes, puede cotejarse con los usuarios cuando sea factible. En la mayoría de los países, los usuarios finales serán extremadamente diversos y un enfoque basado en los proveedores será el más práctico. De todas maneras, una combinación de ambos es, a menudo, lo más efectivo.

DATOS DE LOS PROVEEDORES

Los datos de la actividad de los proveedores corresponden a la cantidad de solvente químico anualmente vendido o importado en un país. Las ventas nacionales de solventes deben estar disponibles directamente de los fabricantes de sustancias químicas. Puesto que los solventes se producen solamente en algunos países, la mayoría importa una parte de lo que consume o todo. Los datos sobre las importaciones de solventes pueden recopilarse de los fabricantes exportadores, aunque la información sobre las exportaciones a países individuales puede ser considerada confidencial. Como alternativa, pueden utilizarse las estadísticas de la aduana o de los distribuidores de solventes importados. Los datos sobre importaciones de solventes suelen obtenerse más fácilmente que los datos sobre las importaciones de aerosoles porque los solventes se importan generalmente a granel en vez de recibirlos en contenedores pequeños.

Si se desarrollan factores de emisión específicos para tipos particulares de equipos, será necesario desagregar los datos de consumo para estas clases de equipos. En general, exige un enfoque de «abajo hacia arriba».

DATOS DE LOS USUARIOS

Los datos de la actividad de los usuarios incluyen la cantidad de piezas de los equipos o de las latas que contienen solvente y la cantidad de sus cargas respectivas. El enfoque de «abajo hacia arriba» es apropiado cuando las grandes corporaciones consumen la mayor parte del solvente vendido, pues debe ser posible obtener datos sobre los usos finales desde un número reducido de grandes entidades. El enfoque de «abajo hacia arriba» es también el más apropiado cuando se dispone de los factores de emisión específicos de los equipos.

7.2.2.4 EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad depende de la disponibilidad de los datos de la actividad. Los compiladores del inventario de los países que no tienen una producción nacional de solventes deben recurrir al dictamen de expertos para estimar los datos de la actividad, pues es probable que las estadísticas sobre las importaciones estén incompletas (véase el Volumen 1, Capítulos 2 y 3).

Existe la posibilidad del cómputo doble que se ha discutido ya en el Volumen 3, Capítulo 6, donde se aborda el uso de los HFC y PFC en la industria electrónica. Esto no debería ocurrir si se toman las precauciones para identificar los patrones anteriores de consumo de la SAO. Siempre es una *buena práctica* que los compiladores del inventario establezcan referencias cruzadas entre las dos partes de una declaración para confirmar que no se ha incurrido en cómputos dobles.

En relación con el cómputo doble, también se deben tomar precauciones cuando los HFC y los PFC que actúan como solventes están contenidos en aerosoles. Debe establecerse una política clara sobre cómo contabilizarlos. Normalmente, es una *buena práctica* dar cuenta de estos usos en el consumo de los aerosoles para evitar problemas al hacer la distinción entre solventes y propulsores, en particular cuando un producto puede cumplir ambas funciones. Este tema está cubierto más adelante, en la Sección 7.3.

Como se ha indicado en la Sección 7.2.2.1, es también una *buena práctica* hacer algunas investigaciones para confirmar que en las aplicaciones de solventes no se estén utilizando otros HFC o PFC que los que se enumeran en el Cuadro 7.1. Los productores, importadores y distribuidores deben estar en condiciones de confirmar esta situación.

7.2.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones originadas por los solventes deben calcularse utilizando el mismo método y las mismas fuentes de datos para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para todos los años de la serie temporal, deben recalcularse los vacíos según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

7.2.3 Evaluación de incertidumbre

La hipótesis de que todos los solventes pueden ser emitidos dentro de un lapso aproximado de dos años (50 por ciento en el Año t y 50 por ciento en Año $t+1$) ha sido ampliamente aceptada por los expertos como hipótesis por

defecto razonable (Orientación sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, (IPCC, 2000). Sin embargo, la magnitud del error inducido por esta hipótesis depende de la naturaleza de los patrones de utilización del solvente en el país declarante. En general, la hipótesis por defecto sobreestimarán las emisiones para un año dado a medida que mejora la hermeticidad de los equipos frente a las fugas, aunque no de una manera acumulativa, a menos que se practique la destrucción. Inversamente, el aumento con el tiempo de la destrucción de los solventes recuperados o reciclados, influye sobre la hipótesis de un 100 por ciento de liberación eventual. Los datos de la actividad deben ser fiables al nivel de la aplicación debido al reducido número de fabricantes de sustancias químicas, al alto costo de los solventes y a la naturaleza ciento por ciento emisiva del uso a través del tiempo, para la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo, la incertidumbre al nivel de las sub-aplicaciones depende en gran medida de la calidad de los datos proporcionados por los usuarios y del nivel de exhaustividad logrado en la revisión de los datos.

7.2.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

7.2.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

Es una *buen práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, Capítulo 6 y procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta aplicación se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* según lo identificado en el Volumen 1, Capítulo 4.

Además de la orientación del Volumen 1, se bosquejan a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta aplicación.

- Para un exacto control y/o garantía de calidad, deben compilarse los datos, tanto de «de arriba hacia abajo» como por utilización final. Para facilitar una evaluación independiente del nivel de calidad de las declaraciones de datos, debe cuantificarse la cantidad de fabricantes, distribuidores y usuarios finales entrevistados.
- Al aplicar los factores de emisión y los datos de la actividad específicos para varias aplicaciones de solventes, se deben obtener datos de la actividad con el mismo nivel de detalle.

7.2.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Los compiladores del inventario deben declarar el factor de emisión utilizado y las bases empíricas de todo factor específico del país. Para los datos de la actividad, deben declararse las ventas y las importaciones de las sustancias químicas, a menos que existan problemas de confidencialidad provocados por la cantidad limitada y la ubicación de los fabricantes. (Por ejemplo, en la actualidad puede que exista sólo un productor para cada compuesto.) Donde existan menos de tres fabricantes de una sustancia química específica utilizada como solvente, las declaraciones pueden agregarse dentro de la sección de los aerosoles, pues ambas son consideradas como aplicaciones 100 por ciento emisivas (véase la Sección 7.3.4.2, más abajo). En este caso, para preservar la confidencialidad, no deben especificarse las emisiones de los gases individuales y éstas deben declararse en toneladas de equivalente-CO₂.

7.3 AEROSOL (PROPULSORES Y SOLVENTES)

7.3.1 Sustancias químicas cubiertos en esta área de aplicación

La mayoría de los contenedores de aerosoles contienen propulsores de hidrocarburos (HC), pero en una pequeña fracción del total, los HFC y PFC pueden usarse como propulsores o solventes. Las emisiones de los aerosoles ocurren generalmente poco después de la producción, en promedio seis meses después de la venta. Sin embargo, el periodo comprendido entre la fabricación y la venta puede variar significativamente según la sub-aplicación involucrada. Durante el uso de los aerosoles se emite el 100 por ciento de la sustancia química (Gamlen *et al.*, 1986; U.S. EPA, 1992b). Las 5 sub-aplicaciones principales son las siguientes:

- (i) Inhaladores dosificados (MDI, del inglés, *Metered Dose Inhalers*) (Aerosoles de uso médico)
- (ii) Productos de higiene personal (p. ej., cuidado del cabello, desodorantes, cremas de afeitar);
- (iii) Productos para uso doméstico (p. ej., desodorantes ambientales, limpiadores para hornos y tejidos);
- (iv) Productos industriales (p. ej., rociadores para limpiezas especiales tales como las de contactos eléctricos, lubricantes, congelantes);
- (v) Otros productos generales (p. ej., serpentinas gelatinosas, infladores de neumáticos, cláxones)

Como se muestra en el Cuadro 7.1, los HFC usados actualmente como propulsores son el HFC 34a, el HFC 227ea y el HFC 152a. Las sustancias HFC-245fa, HFC-365mfc, HFC-43-10mee y un PFC, el perfluorohexano, se usan como solventes en aerosoles industriales. Entre éstos, el HFC-43-10mee es el que se utiliza más ampliamente.¹¹ Se espera que el HFC-365mfc se utilice también en los aerosoles en el futuro cercano.

7.3.2 Cuestiones metodológicas

7.3.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Las emisiones de los aerosoles se consideran *rápidas* pues, para la mayoría de las sub-aplicaciones, toda la carga inicial se escapa dentro del primer o segundo año posterior a la fabricación y típicamente dentro de los seis meses posteriores a la venta. Por lo tanto, para estimar las emisiones, es necesario conocer la cantidad total del aerosol cargado inicialmente, antes de la venta, en los contenedores del producto. Las emisiones para cada aerosol individual durante el año t pueden calcularse de la manera siguiente:

ECUACIÓN 7.6
MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES PARA LOS USOS DE LOS AEROSOL

$$Emisiones_t = S_t \cdot EF + S_{t-1} \cdot (1 - EF)$$

Donde:

Emisiones_t = emisiones en el año t , toneladas

S_t = cantidad de HFC y PFC confinada en los productos con aerosol vendidos en el año t , toneladas

S_{t-1} = cantidad de HFC y PFC confinada en los productos con aerosol vendidos en el año $t-1$, toneladas

EF = factor de emisión (= fracción de la sustancia química emitida durante el primer año), fracción

Debe aplicarse esta ecuación individualmente a cada sustancia química. Toda vez que sea posible y para facilitar un enfoque de Nivel 2a, los datos de la actividad deben recopilarse directamente de los fabricantes o distribuidores de aerosoles, idealmente al nivel de las sub-aplicaciones. Cuando no existan datos específicos del país, para proporcionar un análisis de las sub-aplicaciones pueden usarse los datos de la actividad derivados mundial o regionalmente. Si no se dispone de datos al nivel de las sub-aplicaciones de ninguna de estas fuentes, los datos de la actividad se deben obtener al nivel de la aplicación para utilizarlos en la Ecuación 7.6 (Nivel 1a).

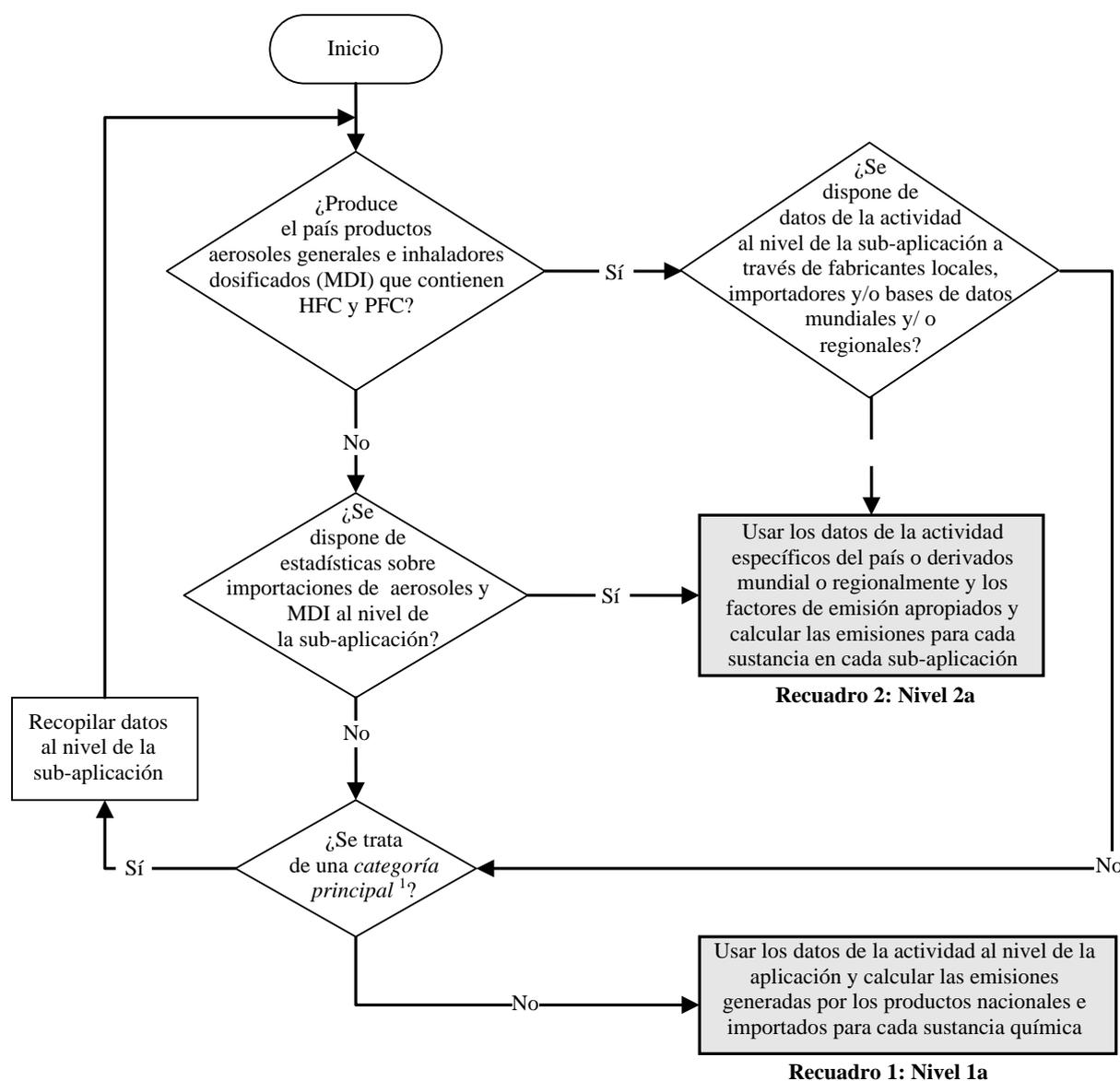
¹¹ El HFC-43-10mee se usa solamente como solvente, pero se cuenta como aerosol cuando se distribuye en latas de aerosol.

Dada la hipótesis de que la vida útil del producto no es superior a dos años, toda cantidad no emitida durante el primer año debe emitirse, por definición, durante el segundo y último año. En la realidad, la mayoría de las emisiones ocurren dentro del primer año posterior a la compra del producto, pero la Ecuación 7.6 da cuenta correctamente del periodo de retardo entre la fecha de fabricación y el tiempo de la compra y de la utilización. Sin embargo, al aplicar la Ecuación 7.6 se debe poner cuidado en definir el Punto de Venta que, para los fines de la estimación de las emisiones, es visto por el fabricante como ventas a la cadena de abastecimiento, y no por el distribuidor hacia el usuario final. Este enfoque es el más apropiado, pues los datos sobre las ventas se recopilan generalmente de los fabricantes y de los distribuidores más importantes.

Por contraste con la situación de los solventes, rara vez es necesario dar cuenta de la recuperación, el reciclado o la destrucción, pues esto puede ocurrir eventualmente sólo cuando caducan los productos almacenados. En condiciones normales de gestión de la cadena de abastecimiento, es una eventualidad poco frecuente.

En la Figura 7.3, Árbol de decisión para las emisiones reales provenientes de las aplicaciones de los aerosoles, se incluye un árbol de decisión para estimar las emisiones reales. El proceso de recopilación de datos se describe más abajo.

Figura 7.3 **Árbol de decisión para las emisiones reales provenientes de la aplicación de los aerosoles**



Nota :
 1. Para un análisis de las categorías principales y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

7.3.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Cuando se evalúa el amplio espectro de los productos con aerosol al nivel de la aplicación (Nivel 1a), es una *buen práctica* utilizar, para cada año, un factor de emisión por defecto del 50 por ciento de la carga inicial. Esto significa que la mitad de la carga química se escapa durante el primer año y, el resto durante el segundo año (Gamlen *et al.*, 1986). Los compiladores del inventario deben usar factores de emisión alternativos sólo cuando se disponga de pruebas empíricas para la mayoría de los productos con aerosoles, ya sea al nivel de la aplicación (Nivel 1a), o al nivel de las sub-aplicaciones (Nivel 2a). En todo caso, los factores porcentuales de emisión deben totalizar, en general, el 100 por ciento para el periodo durante el cual se supone que se escapa la carga. El desarrollo de factores de emisión específicos de los países debe documentarse de manera exhaustiva. Los fabricantes de aerosoles generales y de MDI pueden estar en condiciones de proveer datos sobre las pérdidas de procesos.

A modo de observación general, la naturaleza intrínsecamente emisiva de los aerosoles hace que la distinción entre factores de emisión específicos del país y factores de emisión por defecto, por un lado, y toda diferencia entre los factores de emisión de las variadas sub-aplicaciones, por otro, influya menos en la estimación global de las emisiones que en el caso de otras áreas de aplicaciones. De ahí que el beneficio de favorecer un enfoque más desagregado de Nivel 2a en vez de un enfoque de Nivel 1a sea menos pronunciado en el caso de los aerosoles. Por esto, los compiladores del inventario deben considerar cuidadosamente cuántos recursos se han de invertir en el desarrollo de un enfoque de Nivel 2a. Sin embargo, puede haber otras razones para mantener aparte las declaraciones de algunas sub-aplicaciones y se espera que muchos países deseen monitorear las emisiones provenientes de los MDI separadamente de otros aerosoles generales por razones de política.

7.3.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los datos de la actividad requeridos por el método de Nivel 1a son las cantidades totales de cada sustancia química pertinente confinada en todos los productos con aerosoles consumidos en un país (tanto las ventas nacionales como las importaciones). Para los países que importan el 100 por ciento de los productos con aerosoles, los datos de la actividad son iguales a las importaciones.

Los datos de la actividad para esta aplicación pueden recopilarse al nivel de las sub-aplicaciones utilizando un enfoque basado en los proveedores o uno basado en los usuarios, según la disponibilidad y la calidad de los datos (Nivel 2a). El enfoque basado en los usuarios requiere datos sobre la cantidad de productos con aerosoles vendida e importada al nivel de las sub-aplicaciones (p. ej., el número de inhaladores dosificados individuales, de productos de cuidado del cabello y de infladores de neumáticos) y la carga promedio por contenedor. Para algunos sectores de utilización, esto puede exigir datos de la actividad derivados mundial o regionalmente. El enfoque basado en los proveedores implica la recopilación de datos sobre las ventas de sustancias químicas para aerosoles y MDI directamente de los fabricantes químicos que posean análisis de ventas suficientemente sólidos al nivel del país. En muchos casos, será necesaria una mezcla de ambas fuentes de datos.

Producción nacional de aerosoles: para los países donde exista una producción nacional, normalmente los fabricantes de aerosoles generales y de MDI pueden proporcionar datos sobre las cantidades de productos con aerosol producidos para el consumo en el país, sobre el número de aerosoles exportados, sobre la carga promedio por aerosol y sobre el tipo de propulsor o de solvente utilizado (esto es, cuáles HFC y/o PFC). El uso total de los aerosoles producidos nacionalmente por año puede ser calculado entonces como el número de productos con aerosol vendidos en el país en un año dado, multiplicado por la carga de HFC y/o PFC de cada producto. Por supuesto, para tener una visión general, a esta evaluación habrá que agregar los aerosoles importados. Si no se dispone de datos proporcionados por los productores locales para las sub-aplicaciones, a menudo los productores químicos nacionales pueden proporcionar los datos sobre las cantidades de HFC que venden a los fabricantes nacionales en los inhaladores dosificados y los datos agregados sobre las ventas a otros productores de aerosoles (categorías (ii), (iii), (iv) y (v), señaladas más arriba). Si los fabricantes nacionales de aerosoles y de MDI importan los HFC, la información puede obtenerse de los importadores de sustancias químicas o de sus proveedores extranjeros, aunque, por razones de confidencialidad comercial, estos últimos pueden no estar en condiciones de proveer datos sobre las exportaciones destinadas a países individuales. Las autoridades aduaneras y los distribuidores de sustancias químicas constituyen otra fuente posible de datos sobre las importaciones químicas. Los datos de la actividad derivados mundial o regionalmente pueden también jugar un papel para subsanar los vacíos en los conjuntos de datos existentes y para cotejar los datos obtenidos de los fabricantes de aerosoles y de los proveedores de sustancias químicas.

Producción de aerosoles importados: La mayoría de los países importan una parte significativa del total de sus productos con aerosol. Los datos sobre las importaciones de aerosoles generales que contienen HFC pueden ser difíciles de recopilar porque, típicamente, las estadísticas oficiales sobre las importaciones de productos con aerosoles no distinguen los aerosoles que contienen HFC de los demás aerosoles. Cuando no se puedan obtener

estadísticas utilizables sobre importaciones de las entidades aduaneras, pueden proporcionar los datos los distribuidores de productos y los usuarios finales específicos. Por ejemplo, en el caso de los MDI, en general una cantidad limitada de compañías farmacéuticas importan estos productos y éstas pueden ser sondeadas para obtener la información necesaria. De nuevo, los datos de la actividad derivados mundial o regionalmente pueden ser útiles en algunos casos.

7.3.2.4 EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad depende de la disponibilidad de los datos de la actividad sobre cada sustancia química a cubrir. En la Sección 7.3.1 (y en el Cuadro 7.1) se presenta una evaluación de los HFC y los PFC actualmente en uso, pero los compiladores del inventario deben verificar el caso con las fuentes propias del país para confirmar cuáles son las sustancias químicas pertinentes para la situación local. Los compiladores del inventario de los países sin producción nacional de aerosoles deben recurrir al dictamen de expertos para estimar los datos de la actividad, pues es probable que las estadísticas sobre las importaciones estén incompletas (véase el Volumen 1, Capítulos 2 y 3), en particular, respecto de los propulsores y los solventes que contienen. Cuando existan, las bases de datos de la actividad validadas a nivel mundial o regional pueden ser muy útiles en estos casos.

7.3.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones originadas por los aerosoles deben calcularse utilizando el mismo método y las mismas fuentes de datos para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos coherentes para cualquier año de la serie temporal, deben recalcularse los vacíos según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

7.3.3 Evaluación de incertidumbre

El uso de los HFC en el sector de los aerosoles generales suele ser mayor que en el sector de los MDI. Los datos de los fabricantes de HFC y de los importadores sobre las ventas al sector de los aerosoles generales no están bien definidos actualmente, salvo para el HFC-134a a escala mundial. Es posible mejorar estos datos a través de actividades adicionales de recopilación de datos y del desarrollo de bases de datos mundiales y regionales. La naturaleza difusa del sector de los aerosoles generales implica que la adquisición de datos «de abajo hacia arriba» fiables (Nivel 2a) exige estudios específicos por país realizados por expertos industriales locales, cuyo consejo debe solicitarse en relación con las incertidumbres, utilizando los métodos para obtener dictámenes de expertos esbozados en el Volumen 1, Capítulo 3.

Existen varias fuentes de datos fiables para el sector de los MDI, lo que conduce a un alto grado de confianza en los datos declarados, y esto debe reflejarse en las estimaciones de emisiones del inventario. Sin embargo, al declarar para un solo país, la falta de datos fiables para el sector de los aerosoles generales puede traducirse en que los datos sobre emisiones aparezcan subestimados o sobreestimados por un factor de un tercio o tres, respectivamente.

7.3.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

7.3.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como organizar una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, Capítulo 6 y procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta aplicación se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales*, como se identifica en el Volumen 1, Capítulo 4.

Además de la orientación del Volumen 1, se bosquejan a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta aplicación. Los datos sobre fabricación de aerosoles e importaciones, por un lado, y los datos sobre suministros de sustancias químicas, por otro, pueden cotejarse mutuamente durante el desarrollo de una estimación de las emisiones, o después. Los datos utilizados para calcular las emisiones del año t-1 deben ser coherentes con los datos utilizados en las estimaciones del inventario del año anterior, de modo que el total de los dos años sume 100 por ciento. Si no fuera el caso, entonces hay que declarar las razones de esta incoherencia. Una recopilación de datos llevada a cabo según lo indicado más arriba, en la sección sobre recopilación de datos,

debería proporcionar un control de calidad adecuado. Para facilitar una evaluación independiente del nivel de calidad de las declaraciones de datos, debe cuantificarse la cantidad de fabricantes de aerosoles, más la de importadores.

7.3.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

La estimación de las emisiones provenientes de los inhaladores dosificados puede declararse aparte de la estimación de las emisiones realizadas por algunos compiladores del inventario para otros aerosoles. En estos casos, se debe documentar el factor de emisión específico utilizado. Si se usa preferentemente un factor de emisión específico del país en vez de un factor por defecto, debe documentarse su desarrollo. Los datos detallados de la actividad deben declararse en la medida en la que no divulguen información comercial confidencial. Cuando algunos datos sean confidenciales, se debe proporcionar información cualitativa sobre los tipos de productos con aerosoles consumidos, importados y producidos dentro del país. Es probable que el tipo de HFC utilizado como propulsor o como solvente, así como las ventas de MDI y de aerosoles generales a los países individuales sean considerados información confidencial.¹² Cuando existan menos de tres fabricantes de sustancias químicas específicas utilizadas como solventes, las declaraciones pueden agregarse en esta sección, pues ambas se consideran aplicaciones ciento por ciento emisoras (véase la Sección 7.2.4.2, más arriba).

¹² La cuantificación de los datos sobre utilización para los sectores de aerosoles generales individuales permitirá que se desarrollen proyecciones futuras más fiables y que se consideren estrategias para la reducción de las emisiones.

7.4 AGENTES ESPUMANTES

7.4.1 Sustancias químicas cubiertas en esta área de aplicación

Los HFC se están empleando cada vez más para reemplazar los CFC y HCFC en las espumas y, en particular, en las aplicaciones de aislantes. Los compuestos que se están usando incluyen HFC-245fa, HFC-365mfc, HFC-227ea, HFC-134a y HFC-152a, como se muestra en el Cuadro 7.1. Los procesos y las aplicaciones en los que se están empleando estos diversos HFC se muestran en el Cuadro 7.4, donde las espumas de celdas abiertas predominantes están marcadas con un fondo gris.

CUADRO 7.4 USO DE LOS HFC EN LA INDUSTRIA DEL SOPLADO DE ESPUMAS (EMISIONES DE PRODUCTOS DE ESPUMA POR SUSTITUCIÓN DE GASES – SAO)					
Tipo de celda	sub-aplicación	Alternativas para los agentes espumantes de HFC			
		HFC-134a	HFC-152a	HFC-245fa	HFC-365mfc (+ HFC-227ea)
A B I E R T A	Espuma flexible de PU ^a				
	Espuma moldeada flexible de PU ^a				
	Espuma de piel integral de PU	✓		✓	
	Espuma de componente único de PU	✓	✓		
C E R R A D A	Panel continuo de PU	✓		✓	✓
	Panel discontinuo de PU	✓		✓	✓
	Espuma de PU instalada en aparatos	✓		✓	✓
	Espuma de PU inyectada	✓		✓	✓
	Bloque continuo de PU			✓	✓
	Bloque discontinuo de PU			✓	✓
	Laminado continuo de PU			✓	✓
	Espuma de PU rociado			✓	✓
	Tuberías compuestas aisladas con PU	✓		✓	✓
	Poliestireno extrudido	✓	✓		
	Bloque fenólico			✓	✓
Laminado fenólico			✓	✓	

^a PU significa poliuretano

La clasificación de las espumas en espumas de celdas abiertas o de celdas cerradas guarda relación con la manera en la que se pierde el agente espumante desde los productos. En el caso de las espumas de celdas abiertas, las emisiones de los HFC utilizados como agentes espumantes tienden a producirse durante el proceso de fabricación e inmediatamente después. En las espumas de celdas cerradas, sólo una minoría de las emisiones ocurre durante la fase de fabricación. Las emisiones se extienden, por lo tanto, a la fase del uso y a menudo la mayoría de las emisiones no ocurren hasta que se llega al término del ciclo de vida útil (pérdidas al retirar del servicio). En consecuencia, las emisiones desde las espumas de celdas cerradas pueden producirse durante un periodo de 50 años, o más, a partir de la fecha de fabricación.

Las espumas de celdas abiertas se utilizan para aplicaciones como cojines de muebles domésticos, colchones, asientos de vehículos y para productos moldeados como los volantes de automóviles y mobiliario de oficinas. Por otro lado, las espumas de celdas cerradas se emplean principalmente en las aplicaciones de aislantes, en las cuales la conductividad térmica del gas escogido como agente espumante (inferior a la del aire) se utiliza para contribuir a la eficacia aislante del producto durante todo el ciclo de vida útil.

7.4.2 Cuestiones metodológicas

En las *Directrices* anteriores se presentó una ecuación para calcular las emisiones provenientes de las espumas de celdas cerradas que daba cuenta de los dos primeros puntos de emisión (es decir, de la fabricación y durante la fase de uso). Por lo general, esto sigue siendo suficiente para dar cuenta de las fases iniciales de la incorporación de los HFC. Sin embargo, para preparar una estimación *exhaustiva* de las emisiones desde esta fuente, si se dispone de los datos necesarios, es una *buena práctica* agregar un tercer y un cuarto término a la ecuación para dar cuenta de las pérdidas en la fase de desmantelamiento y de destrucción química. La ecuación pertinente es entonces la siguiente:

ECUACIÓN 7.7
ENFOQUE GENERAL POR FACTOR DE EMISIÓN (A) PARA LAS ESPUMAS

$$Emisiones_t = M_t \cdot EF_{FYL} + Banco_t \cdot EF_{AL} + DL_t - RD_t$$

Donde:

Emisiones_t = emisiones de las espumas de celdas cerradas en el año t, toneladas

M_t = total de HFC utilizado en la fabricación de espumas de celdas cerradas nuevas en el año t, toneladas

EF_{FYL} = factor de emisión para las pérdidas del primer año, fracción

Banco_t = carga de HFC soplada dentro de las espumas de celdas cerradas durante la fabricación, entre el año t y el año t-n, toneladas

EF_{AL} = factor de emisión para las pérdidas anuales, fracción

DL_t = pérdidas durante el desmantelamiento en el año t = pérdidas residuales de sustancia química al término del ciclo de vida útil que se producen cuando el producto y/o equipo es desguazado, calculadas a partir de la cantidad de sustancia química restante y del factor de pérdidas al término de la vida útil que depende del tipo de tratamiento de fin de vida útil adoptado¹³, toneladas

RD_t = emisiones de HFC evitadas por recuperación y destrucción de las espumas y de sus agentes espumantes en el año t, toneladas

n = vida útil del producto para las espumas de celdas cerradas

t = año en curso

(t-n) = periodo total durante el cual los HFC utilizados en las espumas aún pueden estar presentes

Nótese que la Ecuación 7.7, aunque concebida para las espumas de celdas cerradas, puede aplicarse igualmente a las espumas de celdas abiertas. En este sentido, es una ecuación universal para todas las espumas. En el caso de las espumas de celdas abiertas el factor de emisión de las pérdidas del primer año es típicamente de un 100 por ciento y la ecuación se simplifica a su primer término solamente, lo cual se simplifica aún más en la Ecuación 7.8.

En consecuencia, cuando la naturaleza de una espuma sea incierta, la Ecuación 7.7 debe aplicarse individualmente a cada sustancia química y a las principales sub-aplicaciones de espumas, siguiendo un método de Nivel 2a.

Dado que los perfiles de emisión varían sustancialmente entre las sub-aplicaciones dentro de una aplicación general de espumas, al adoptar, donde sea posible, un método de Nivel 2, se aumenta significativamente el valor de la estimación. Idealmente, esto debería lograrse realizando una investigación sobre las actividades de cada país. Sin embargo, en la práctica, el comercio intra-regional de las espumas, combinado con la gran dificultad para implementar sistemas de identificación de los agentes espumantes empleados en las espumas ya fabricadas, hace que sea muy difícil aplicar, al nivel de las sub-aplicaciones, un método basado en los datos de la actividad específicos del país. Reconociendo que tanto los datos desagregados de la actividad como los factores de emisión relacionados pueden ser muy difíciles de obtener, el Comité de opciones técnicas para las espumas del PNUMA (UNEP-FTOC, 1999; UNEP-FTOC, 2003) (FTOC, del inglés, en *Foams Technical Options Committees*) y otros,

¹³ La mayoría de los procedimientos de desmantelamiento no producen la liberación de todo el agente espumante restante. Se ha determinado que aun el procesamiento a través de una auto trituradora abierta genera emisiones inferiores al 50 por ciento del agente espumante restante en el punto de procesamiento (U.S. EPA/AHAM, 2005). De acuerdo con esto, los bancos de agentes espumantes pueden acumularse aún en las corrientes de desecho (p. ej., en vertederos) – véase la Sección 7.4.2.1.

han realizado varios esfuerzos para proporcionar datos de la actividad validados mundial o regionalmente, así como factores de emisión por defecto por sub-aplicación, para los CFC, los HCFC y los hidrocarburos (HC). Aunque sólo ahora los HFC se están empleando significativamente como alternativas adicionales a las SAO, se espera que un enfoque similar, con factores de emisión disponibles en la EFDB, pueda ponerse en práctica para estas sustancias químicas, con el fin de procurar una fuente útil de información a los compiladores del inventario. Otras bases de datos están surgiendo de los trabajos originales de los FTOC sobre los datos de la actividad y éstas serán particularmente útiles allí donde el comercio de productos que contienen HFC sea significativo, pero difícil de indagar.

A modo de consideración metodológica adicional, nótese que muchas de las emisiones provenientes de las espumas aislantes con celdas cerradas surgen de los bancos de agentes espumantes constituidos durante los años de consumo previos. Este punto fue destacado por el Informe especial del IPCC sobre la Protección de la capa de ozono y el Sistema Climático Mundial (TEAP): *Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons* (IPCC/TEAP, 2005), donde se señaló que las emisiones de los CFC podrían continuar produciéndose desde los agentes espumantes de los bancos de espumas hasta mediados del siglo XXI. Esto ilustra la importancia de emplear un método de estimación de las emisiones que refleje correctamente el desarrollo de los bancos.

Una característica adicional de los inventarios de las espumas es que una mayoría significativa de las emisiones se produce de las espumas de celdas cerradas en el punto de desmantelamiento o ulteriormente. Por esto, los compiladores del inventario deben investigar cuidadosamente y de cerca, las prácticas de desmantelamiento y toda práctica de recuperación y destrucción que se apliquen dentro de sus países respectivos. Como corolario extra, es probable que los métodos que suponen una liberación total de los agentes espumantes durante las fases de fabricación y de uso tiendan a sobreestimar las emisiones para cualquier año en particular. En consecuencia, los métodos deben suponer una liberación completa de los agentes espumantes durante el desmantelamiento sólo cuando existan pruebas explícitas que apoyen esta hipótesis y deben atribuir normalmente las emisiones a los años subsiguientes sobre la base de una función más adecuada de liberación. Por esto, las columnas pertinentes de los Cuadros 7.6 y 7.7 representan las pérdidas «potenciales máximas». En la práctica, es probable que estas emisiones se distribuyan a lo largo de un gran número de años después del desmantelamiento si las espumas permanecen esencialmente intactas (es decir, el tamaño de las partículas > 8 Mm.) (U.S. EPA/AHAM, 2005).

A modo de observación general, el enfoque por equilibrio de masas (Enfoque B) no es apropiado para las espumas, pues en la práctica no existe un mecanismo que permita dar mantenimiento a estos productos.

7.4.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Espuma de celdas abiertas: Dado que los HFC utilizados para soplar las espumas de celdas abiertas son liberados inmediatamente, en casi todos los casos las emisiones ocurrirán en el país de fabricación. La única excepción puede darse en el caso de las OCF (del inglés, *One Component Foams*: espumas de componente único) donde el contenedor que se llena puede fabricarse en un país, pero las emisiones pueden ocurrir en otro, pues los contenedores se comercializan fácilmente. Las emisiones se calculan según la ecuación siguiente:¹⁴

<p>ECUACIÓN 7.8</p> <p>MÉTODO DE CÁLCULO GENÉRICO PARA LAS EMISIONES PROVENIENTES</p> <p>DE LAS ESPUMAS DE CELDAS ABIERTAS</p> <p>$Emisiones_t = M_t$</p>

Donde:

Emisiones_t = emisiones de la espuma de celdas abierta en el año t, toneladas

M_t = total de HFC utilizado en la fabricación de espumas de celdas abiertas nuevas en el año t, toneladas

Esta ecuación debe aplicarse para cada sustancia química utilizada en las aplicaciones de espumas de celdas abiertas. Aunque hay poca variación en los factores de emisión entre las sub-aplicaciones de celdas abiertas, puede ser aún ventajoso emplear un método desagregado de Nivel 2a para que sea más fácil evaluar los datos de la actividad sobre el consumo neto. Ese enfoque aborda naturalmente la comercialización de las espumas de componente único. Allí donde haya poco uso de las espumas de componente único, resulta lógico orientarse hacia un método de Nivel 1a en el cual la Ecuación 7.8 se implemente al nivel de la aplicación.

Espuma de celdas cerradas: las emisiones provenientes de las espumas de celdas cerradas ocurren en tres puntos definidos que ya se han destacado en la Ecuación 7.7:

¹⁴ Para estas aplicaciones, las emisiones reales de cada sustancia química son iguales a las emisiones potenciales.

- (vi) Pérdidas del primer año provenientes de la fabricación y la instalación de las espumas: estas emisiones ocurren en el lugar de fabricación o instalación de los productos.
- (vii) Pérdidas anuales (pérdidas in situ durante el uso de las espumas): cada año, las espumas de celdas cerradas pierden una fracción de su carga inicial hasta que son desmanteladas. estas emisiones ocurren en el lugar de utilización de los productos.
- (viii) Pérdidas por desmantelamiento: las emisiones durante el desmantelamiento también ocurren en el lugar de utilización de los productos.

Para implementar un enfoque que capture estas tres fases, es necesario recopilar datos actuales e históricos sobre las ventas anuales hacia la industria de las espumas para todo el tiempo en que los HFC hayan sido utilizados en este periodo de aplicación, incluyendo el tiempo promedio de vida útil de las espumas de celdas cerradas (hasta de 50 años). También deben tomarse en consideración las importaciones o exportaciones de las especies de espumas que todavía incluyen los HFC. Por igual, deben hacerse ajustes para artículos como los refrigeradores domésticos o comerciales y los congeladores, o aquellos de las aplicaciones del sector de la construcción como los paneles dobles, las placas, los bloques y las tuberías aisladas, que se producen en un país pero que pueden ser utilizados en otro.

En evaluaciones anteriores, el cálculo de las pérdidas por desmantelamiento se ha basado en la premisa de que todo agente espumante que permanece en una espuma hasta el término de la vida útil, se pierde en la etapa de desmantelamiento. Desde el punto de vista de las emisiones, ésta es la hipótesis del peor de los casos, aún para los métodos de eliminación que no estén orientados hacia la recuperación y la destrucción (véase la nota 13). En la práctica, la recuperación y destrucción del agente espumante o su destrucción directa (p. ej., por incineración) disminuyen aún más esta pérdidas. Por lo tanto, la Ecuación 7.7 contiene un cuarto componente para dar cuenta de las emisiones de HFC evitadas de esta manera. El informe del PNUMA *TEAP Task Force Report on Foams End-of-Life* (UNEP-TEAP, 2005) aborda muchas de las posibles maneras de evitar las emisiones de los agentes espumantes e introduce el concepto de eficiencia de recuperación y destrucción (RDE: del inglés, *Recovery and Destruction Efficiency*) para evaluar la eficacia de tales métodos.

Incluso donde no se practiquen los métodos activos de recuperación y destrucción, sigue siendo improbable que todo el agente espumante sea liberado al término de la vida útil, en particular cuando las espumas suelen permanecer intactas durante la eliminación (p. ej., durante la permanencia en vertederos). En estas circunstancias, una proporción considerable del agente espumante permanece en la corriente de desecho y se constituye una fuente adicional de emisiones de *bancos*. Puesto que los índices de emisión procedentes de tales bancos serán inferiores al 100 por ciento, la Ecuación 7.7 sobreestimaré las emisiones para los casos en que una proporción significativa de las espumas que contienen HFC utilizadas en el país hayan sido ya desmanteladas. Aunque para abordar este elemento de emisión sería posible considerar un quinto término para la Ecuación 7.7, esto no se juzga de una importancia suficiente como para justificar este enfoque en la fase mundial del uso de los HFC que cubren estas *Directrices*. Sin embargo, este tema puede ser abordado por algunas de las evaluaciones más sofisticadas derivadas global o regionalmente.

Si no es posible recopilar datos sobre las pérdidas potenciales durante el desmantelamiento, se debe suponer que todas las sustancias químicas no emitidas durante la fabricación se emiten durante el ciclo de vida útil de la espuma. Sin embargo, se deben tomar precauciones particulares para verificar si los artículos como los refrigeradores domésticos o comerciales y los congeladores, se exportan a otros países para ser reutilizados. Allí donde la aplicación de las espumas no pueda desagregarse al nivel de las sub-aplicaciones y donde no se disponga de datos de la actividad derivados mundial o regionalmente, hay que aplicar un método de Nivel 1a. Al escoger el método de Nivel 1, es una *buena práctica* suponer que todas las emisiones de las espumas de celdas cerradas se conforman al modelo de Gamlen (véase el Cuadro 7.5)

CUADRO 7.5	
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LOS HFC PROVENIENTES DE LAS ESPUMAS DE CELDAS CERRADAS	
Factor de emisión	Valores por defecto
Vida útil del producto	n = 20 años
Pérdidas del primer año	10% de la carga original de HFC/año, aunque el valor puede descender a 5% si hay un reciclado significativo durante la fabricación.
Pérdidas anuales	4,5% de la carga original de HFC/año
Fuente: Gamlen <i>et al.</i> (1986).	

Si se dispone a la vez de datos históricos y actuales de la actividad, específicos del país, para las espumas de celdas cerradas al nivel de la aplicación, a esta información se le puede aplicar el modelo de Gamlen. Sin embargo, el desafío principal para los compiladores del inventario se presenta generalmente en la caracterización de los datos históricos de la actividad al nivel del país. Si se da esta dificultad, por lo general es posible estimar los datos de la actividad al nivel del país a partir de la aplicación de factores geo-económicos, siempre y cuando se conozcan los datos de la actividad validados mundial o regionalmente. Este tema está cubierto más adelante en la Sección 7.4.2.3.

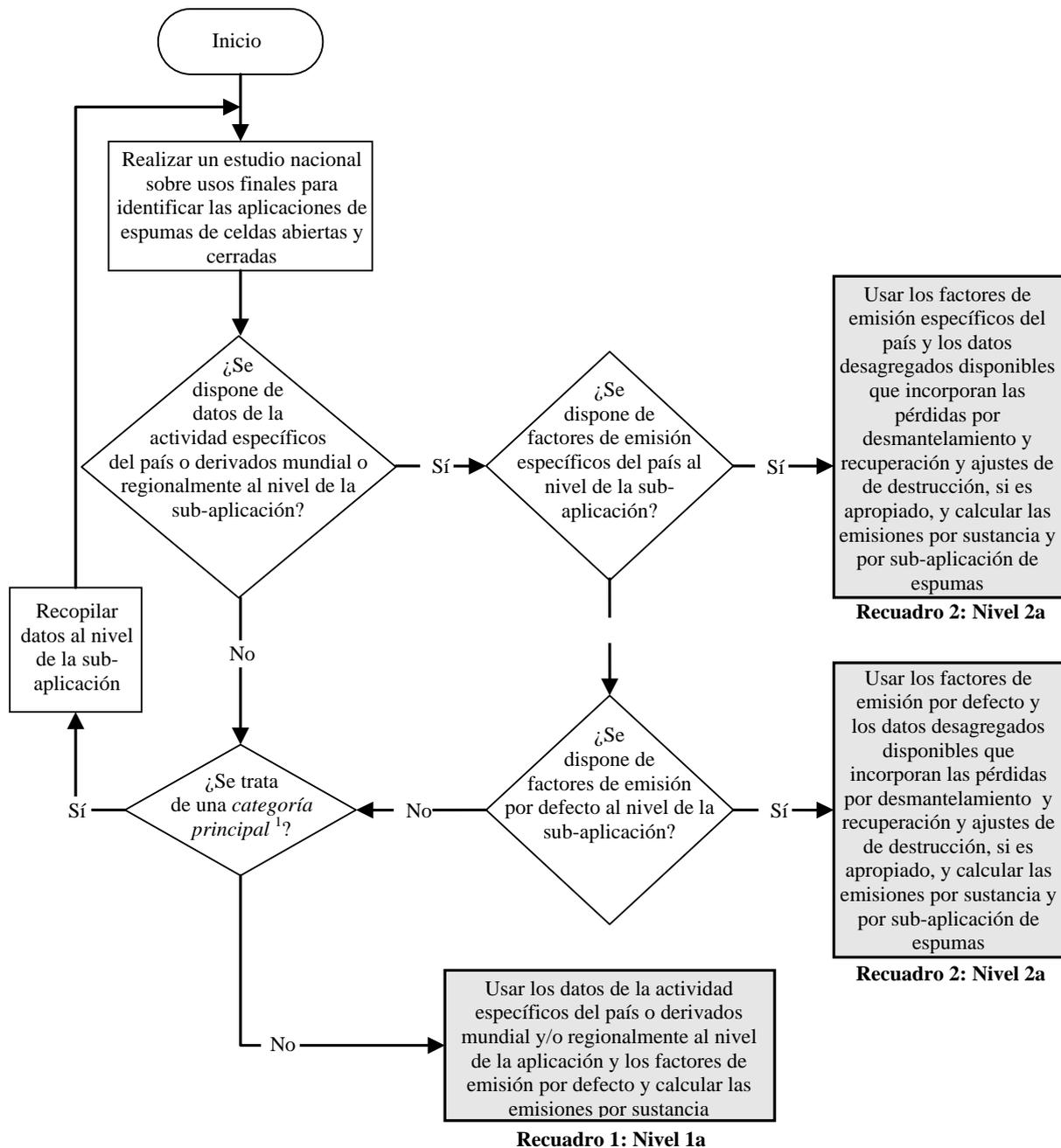
Allí donde se disponga de los datos de la actividad relativos al consumo neto para las sub-aplicaciones, ya sea a partir de fuentes de datos específicos del país o de conjuntos de datos de la actividad derivados mundial o regionalmente, es una *buena práctica* utilizar los métodos de Nivel 2 que reflejen el nivel de desagregación. Esto es particularmente importante para las espumas, debido a la naturaleza heterogénea de las diversas sub-aplicaciones involucradas. El árbol de decisión de la Figura 7.4 describe la *buena práctica* para seleccionar los métodos para estimar las emisiones.

7.4.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Tal como en otras aplicaciones, la primera opción para escoger los factores de emisión consiste en desarrollar y utilizar los datos específicos del país, revisados por pares y bien documentados, sobre la base de una investigación de campo sobre cada tipo de espuma (de celdas abiertas y de celdas cerradas), que respalden un enfoque de Nivel 2a. Como se ha señalado anteriormente, si no se dispone de información al nivel de las sub-aplicaciones, pueden adoptarse los factores de emisión de la base de datos EFDB o de los datos contenidos en esta sección. Sin embargo, nótese que los datos de esta sección no serán reemplazados por datos, actualizados como puede ser el caso de la EFDB. Ambos enfoques, tanto el específico del país como el derivado mundial y/o regionalmente, conducen a la necesaria evaluación de las pérdidas por desmantelamiento.¹⁵

¹⁵ Se ha señalado también que el desmantelamiento puede no implicar necesariamente la pérdida total del agente espumante en ese punto, ya sea debido a un cierto nivel de uso secundario o porque el elemento se ha eliminado intacto (p. ej., muchos refrigeradores). Esto puede considerarse una de las opciones de gestión del término de la vida útil que están disponibles para las naciones, pero es manifiestamente menos eficaz que una destrucción adecuada o que las tecnologías de recuperación. Los modelos de emisiones deben concentrar una atención apropiada en los temas relativos al término de la vida útil.

Figura 7.4 **Árbol de decisión para las emisiones provenientes de las aplicaciones de las espumas**



Nota :

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

En el Cuadro 7.6, Factores de emisión por defecto para los HFC-134a/HFC-152a (sub-aplicaciones de las espumas) y en el Cuadro 7.7, Factores de emisión por defecto para los HFC-245a/HFC-365mfc/HFC-227ea (sub-aplicaciones de las espumas), se enumeran las hipótesis sobre los factores de emisión por defecto para las aplicaciones más importantes de las espumas de celdas cerradas de la actualidad. Al utilizar estos factores se requieren datos sobre las ventas de sustancias químicas al nivel de las sub-aplicaciones, tanto para el consumo actual como para el consumo histórico, de modo que el banco de sustancias químicas en los equipos y/o productos sea considerado adecuadamente para estas sub-aplicaciones.

CUADRO 7.6
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LOS USOS DE LOS HFC-134A/HFC-152A
(SUB-APLICACIONES DE LAS ESPUMAS) (IPCC/TEAP, 2005)

Sub-aplicación	Vida útil del producto en años	Pérdidas del primer año %	Pérdidas anuales %	Pérdidas potenciales máximas al fin de la vida útil %
Poliuretano – piel integrada	12	95	2,5	0
Poliuretano – panel continuo	50	10	0,5	65
Poliuretano – panel discontinuo	50	12,5	0,5	62,5
Poliuretano – Electrodomésticos	15	7	0,5	85,5
Poliuretano – inyectado	15	12,5	0,5	80
Espuma de componente único (OCF) ^a	50	95	2,5	0
Poliuretano extruido (XPS) ^b - HFC-134a	50	25	0,75	37,5
Poliuretano extruido (XPS) - HFC-152a	50	50	25	0
Poliuretano extruido (PE) ^a	50	40	3	0

Fuente:
^a Ashford y Jeffs (2004) compilado de *UNEP FTOC Reports* (UNEP-FTOC, 1999; UNEP-FTOC, 2003).
^b Vo y Paquet (2004): *An Evaluation of Thermal Conductivity over time for Extruded Polystyrene Foams blown with HFC-134a and HCFC-142b*

Algunos artículos como los frigoríficos o las cámaras aisladas de camiones pueden pasar la mayor parte de sus vidas útiles transitando entre distintos países. Dado que estas aplicaciones tienen unas emisiones de uso muy bajas, es razonable que se tomen en cuenta sólo las pérdidas por fabricación y de desmantelamiento.

CUADRO 7.7
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LOS USOS DE LOS HFC-245fa/HFC-365mfc/HFC-227ea
(SUB-APLICACIÓN DE LAS ESPUMAS)

Aplicaciones de los HFC-245a/HFC-365mfc	Vida útil del producto en años	Pérdidas del primer año %	Pérdidas anuales %	Pérdidas potenciales máximas al fin de la vida útil %
Poliuretano – panel continuo	50	5	0,5	70
Poliuretano – panel discontinuo	50	12	0,5	63
Poliuretano – Electrodomésticos	15	4	0,25	92,25
Poliuretano – inyectado	15	10	0,5	82,5
Poliuretano – bloque continuo	15	20	1	65
Poliuretano – bloque discontinuo para secciones de tuberías	15	45	0,75	43,75
Poliuretano – bloque discontinuo para paneles	50	15	0,5	60
Poliuretano – laminado continuo / placas	25	6	1	69
Poliuretano – nebulizadores	50	15	1,5	10
Poliuretano – tuberías compuestas aisladas	50	6	0,25	81,5
Fenólico – bloque discontinuo	15	45	0,75	43,75
Fenólico – laminado discontinuo	50	10	1	40
Poliuretano – piel integrada	12	95	2,5	0

Fuente: Ashford y Jeffs (2004) compilado de *UNEP FTOC Reports* (UNEP-FTOC, 1999; UNEP-FTOC, 2003).

Si sólo se dispone de datos agregados sobre las ventas de sustancias químicas para las espumas de celdas cerradas y no se puede obtener información sobre los tipos específicos de espumas, los factores de emisión por defecto generales que se muestran en el Cuadro 7.5 pueden utilizarse como respaldo del método de Nivel 1a.¹⁶ Esto repite la anterior orientación de las *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996* (IPCC, 1997) para el Nivel 2, pero clasificado ahora como método de Nivel 1a, luego de la exclusión de los métodos de emisiones potenciales para los sustitutos de la SAO.

El empleo de estos factores de emisión por defecto produce una emisión del 90 por ciento de las cargas iniciales durante veinte años de uso anual, después de un 10 por ciento inicial durante el primer año.

7.4.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Para preparar las estimaciones de las emisiones se necesitan dos tipos de datos de la actividad:

1. la cantidad de sustancia química utilizada en la fabricación de espuma en un país, sin exportaciones ulteriores, y
2. la cantidad de sustancia química confinada en la espuma importada en el país.

Los problemas de recopilación de datos relacionados con estas dos áreas son diferentes.

Sustancias químicas utilizadas en la fabricación de espumas

La cantidad de sustancias químicas a granel utilizadas en la industria del soplado de espumas debe incluir tanto los HFC producidos nacionalmente como los importados. Los datos sobre las ventas nacionales a la industria de las espumas deben estar disponibles directamente de los proveedores químicos o de los fabricantes de espumas al nivel de la aplicación (Nivel 1a) y pueden extenderse hacia un análisis al nivel de las sub-aplicaciones (Nivel 2a). Al igual que para otras aplicaciones de los sustitutos de las SAO, los datos sobre importaciones químicas pueden estar disponibles a través de las autoridades aduaneras o de los distribuidores químicos.

Para construir una imagen adecuada sobre el desarrollo de los bancos de agentes espumantes se necesitan datos históricos sobre el consumo. Sin embargo, esto no se aplica al caso de las espumas de celdas abiertas que pierden sus agentes espumantes durante el primer año. Para las espumas de celdas abiertas, todas las emisiones ocurren durante la fabricación, excepto en el caso del sub-sector OCF. Por lo tanto, es necesario determinar la parte de la sustancia química asociada con la fabricación de espumas de celdas abiertas. Estos datos pueden determinarse mediante un estudio sobre uso final o aproximarse por revisión de datos similares sobre uso final para los CFC y los HCFC.

Sustancia química confinada en las espumas importadas y exportadas

Los compiladores del inventario de los países exportadores de espumas de celdas cerradas deben restar estos volúmenes de sus cálculos sobre los bancos anuales y sobre las pérdidas definitivas por desmantelamiento, pues las emisiones durante el uso se producen en el país importador. Los datos sobre la carga química de las espumas de celdas cerradas exportadas pueden obtenerse de los grandes fabricantes. Sin embargo, es poco probable que, por sí mismos, los datos aduaneros puedan proporcionar información apropiada sobre el tipo de agente espumante, a menos que el país declarante haya tomado medidas especiales en este sentido.

Por igual, los compiladores del inventario de los países importadores de productos que contienen espumas de celdas cerradas deben incluir, para mayor exhaustividad, estimaciones de las emisiones procedentes de estos productos importados. Puesto que los compiladores del inventario tendrán aún menos conocimientos y menos control sobre los productos fabricados fuera del país que sobre los fabricados y seguidamente exportados, la información sobre los agentes espumantes confinados en los productos de espumas de celdas cerradas resulta aún más difícil de recopilar. En consecuencia, para estimar estos datos, los compiladores de los países cuyas emisiones ocurren sólo a partir de espumas de celdas cerradas pueden tener que recurrir al dictamen de expertos (véase el Volumen 1, Capítulos 2 y 3)

En el pasado, para desarrollar las estimaciones de las sustancias químicas confinadas en las espumas de celdas cerradas importadas, los compiladores del inventario no estaban en condiciones de utilizar los conjuntos de datos internacionales sobre producción y consumo de HFC, pues éstos no incluían las bases de datos regionales sobre los patrones de uso y comercialización. Por ejemplo, el proceso de acopio de estadísticas del estudio *Alternative*

¹⁶ No se proporcionan factores de emisión para las espumas de celdas abiertas pues todas las emisiones ocurren durante el primer año.

Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS), compiló datos de la actividad mundial para el HFC-134a en el sector de las espumas¹⁷ hasta 1997, pero en la época no se disponía de desgloses regionales.

Para ayudar a resolver este problema, hoy día, algunas bases de datos contienen mecanismos nacionales para asistir a los compiladores del inventario en la explotación de los conjuntos de datos internacionales sobre consumo y emisiones de HFC/PFC que dan acceso a los datos de la actividad derivados mundial o regionalmente y a estimaciones de bancos de agentes espumantes confinados en espumas de celdas cerradas dentro de sus propios países. Éstos pueden aplicarse dentro de las evaluaciones de Nivel 2a y proporcionarán datos estimados de consumo y de bancos al nivel de las sub-aplicaciones, a los cuales podrán aplicarse los factores de emisión por defecto indicados en los Cuadros 7.6 y 7.7 (o versiones actualizadas de éstos proporcionadas por la EFDB u otras fuentes).

7.4.2.4 RESUMEN DE LOS MÉTODOS PRINCIPALES

Etapas del método de Nivel 2a utilizando los datos sustitutos

En el Recuadro 7.2 se ilustran las etapas típicas necesarias para implementar un método de Nivel 2a utilizando los datos sustitutos:

RECUADRO 7.2
IMPLEMENTACIÓN DEL NIVEL 2A PARA LA APLICACIÓN DE LAS ESPUMAS
UTILIZANDO DATOS DERIVADOS MUNDIAL O REGIONALMENTE

En el sector de las espumas hay hasta 16 sub-aplicaciones. Un país declarante debe considerar cuáles de estas sub-aplicaciones son pertinentes para la situación propia y seguir estos pasos para cada proceso y/o aplicación.

Consumo

1. Identificar el tonelaje de espuma utilizada en el proceso y/o aplicación
2. Establecer la densidad promedio de las espumas utilizadas en el proceso y/o aplicación y, de ahí, el volumen de espuma («volumen de espuma por unidad» es la métrica utilizada comúnmente en casas y edificios)
3. Identificar la cantidad de casas construidas en el año o la cantidad de artefactos fabricados/vendidos en el año, para determinar el cociente volumétrico de espuma nominal (volumen de espuma por unidad)
4. Evaluar las tendencias de crecimiento tanto en la cantidad de unidades como en el cociente volumétrico de espuma y aplicar estas tendencias para estimar el tonelaje de espumas para años anteriores y futuros (p. ej., años para los cuales no se dispone de los datos para la etapa 3)
5. Evaluar la fracción o parte de mercado correspondiente a los distintos agentes espumantes (sustancias químicas) utilizadas para cada proceso y/o aplicación. Tomar precauciones particulares cuando se trate de mezclas.
6. Identificar las fórmulas típicas de las espumas para cada tipo de agente espumante y aplicar estas fórmulas a la proporción de los procesos y/o aplicaciones que utilizan ese agente espumante.
7. Multiplicar el tonelaje de espuma por la fórmula (peso/peso) y los datos detallados sobre la participación de mercado, para obtener el consumo de agente espumante por tipo (típicamente, hasta 14 tipos).
8. Cotejar los resultados con toda información disponible sobre las ventas de agentes espumantes específicos al nivel del país.

Emisiones durante el uso

9. Determinar el índice de pérdidas del primer año para el proceso y/o la aplicación. Multiplicar este índice de pérdida por el consumo de sustancia química para estimar las pérdidas provenientes de esta fase. *Estas emisiones deben sumarse a las demás fuentes de emisión.*
10. El balance del consumo no emitido para el año se suma al banco de agente espumante almacenado en ese proceso y/o aplicación
11. Aplicar un índice de emisión lineal a los materiales retenidos en el banco, lo que elimina así la necesidad de aplicar modelos paralelos basados en la antigüedad de la contribución del banco.
12. Aplicar el promedio de el índice de emisión durante el uso al banco y *sumar las emisiones resultantes al total de las emisiones.*
13. Basándose en la predicción del promedio de vida útil del producto, determinar qué cantidad del banco será desmantelada en el año en curso y restar esta cantidad del banco.

Desmantelamiento, recuperación y destrucción

14. Existen una serie de posibilidades de fin de vida útil para las espumas, pero la *buena práctica* sugiere que deben considerarse cuatro posibilidades principales:
 - a. reutilización
 - b. descarga en vertedero sin triturar
 - c. trituración sin recuperación
 - d. recuperación total y captura (incluida la trituración con recuperación, la incineración directa, etc.)
15. Las partes desmanteladas de un banco para un año determinado deben atribuirse a una de las cuatro posibilidades mencionadas más arriba, en proporción con lo que sucede en la práctica en el país.
16. Se deben determinar los factores de emisión aplicables durante el desmantelamiento, así como en otras etapas de la gestión del fin de vida útil. Estos factores deben aplicarse entonces a las partes desmanteladas de los procesos y/o aplicaciones. *Estas emisiones deben sumarse a las demás fuentes de emisión.* Los factores de emisión máximos de los Cuadros 7.6 y 7.7 deben aplicarse sólo donde se pueda suponer razonablemente que ocurren liberaciones instantáneas.
17. Allí donde las emisiones provenientes de la gestión del fin de vida útil sean emisiones en curso (p. ej., reutilización, descarga en vertederos y trituración sin recuperación), deben establecerse más bancos de fin de vida para conservar una traza de la acumulación de los agentes espumantes y para estimar las emisiones anuales en curso que provienen de estas fuentes.
18. A los bancos de fin de vida útil se deben aplicar los factores anuales de emisión para cada una de estas fuentes. *Estas emisiones deben sumarse a las otras fuentes de emisión.*

¹⁷ El HFC-134a es el HFC de uso más común. Los datos de la AFEAS pueden encontrarse en <http://www.afeas.org>.

Utilización del método de Nivel 1a basado en el modelo de Gamlen

Para estimar las emisiones del banco total de espumas de celdas cerradas de un país, se puede utilizar, aunque la alternativa es más limitada, un método de Nivel 1a basado en el modelo de Gamlen (Cuadro 7.5) Se ilustra el método en el extracto de hoja de cálculo siguiente¹⁸:

Figura 7.5 Ejemplo de hoja de cálculo para el método de Nivel 1a

País	Bélgica
Agente	HFC-134a
Consumo espuma celda cerrada	Dejar en blanco para utilizar valor de la base de datos
Consumo espuma celda abierta	Dejar en blanco para utilizar valor de la base de datos

Año en curso	2005 (Año de la estimación)
Año de introducción	1993
Emisiones del primer año	10% (Emisiones de la fabricación e instalación)
	4,50% (Pérdidas anuales durante el uso)

Emisiones espumas celdas cerradas	55,4 toneladas
Emisiones espumas celdas abiertas	0,8 toneladas
(Banco de agente en esp celdas cerradas)	635,9 toneladas)

Emisiones de las espumas de celdas cerradas							Emisiones de las espumas de celdas abiertas			
Edad	Año	Datos conocidos de consumo (toneladas)	Datos interpolados de consumo (toneladas)	primer año	del banco	banco	total de emisiones	Datos conocidos de consumo (toneladas)	Datos interpolados de consumo (toneladas)	emisiones del primer año
0	2005	133,6	133,6	13,4	42,1	635,9	55,4	0,828939	0,8	0,8
1	2004		123,3	12,3	36,1	557,8	48,4		0,7	0,7
2	2003		113,1	11,3	30,5	482,9	41,8		0,6	0,6
3	2002		102,8	10,3	25,4	411,6	35,7		0,5	0,5

En este ejemplo, se estima que en 2005 Bélgica ha consumido 133,6 toneladas de HFC-134a en las espumas de celdas cerradas y que ha emitido 13,4 toneladas provenientes de las actividades de fabricación del primer año, y 42,1 toneladas por emisiones de los bancos acumulados de espumas, lo que constituye un total de 55,4 toneladas de HFC-134a a partir de las espumas de celdas cerradas para el año 2005. Esta evaluación se basa en el conocimiento de que el HFC-134a se introdujo masivamente en Bélgica en 1993, de modo que la estimación incluye 13 años de datos. El enfoque general, cuando se apoya en datos derivados regionalmente, supone que el promedio de la incorporación de las tecnologías basadas en el HFC-134a para Europa refleja la situación del país en cuestión.

Este método es particularmente atractivo para los países y las regiones que poseen índices bajos de consumo de espuma (p. ej., los países en desarrollo) y donde el cociente volumétrico de espumas en los edificios es bajo y es probable que las emisiones sean mínimas durante el periodo efectivo de estas *Directrices*. Sin embargo, para las regiones que consumen volúmenes más grandes de HFC en los edificios, se recomiendan los métodos de Nivel 2 para evitar los errores de asignación del consumo y, en particular, de las emisiones, debido a las hipótesis implícitas en el modelo de Gamlen (Cuadro 7.5) y al hecho de promediar los patrones de consumo.

7.4.2.5 EXHAUSTIVIDAD

Dentro de la aplicación de las espumas se han identificado por lo menos dieciséis sub-aplicaciones potenciales y cinco sustancias químicas potenciales utilizadas como agentes espumantes (HFC-134a, HFC-152a, HFC-245fa, HFC-365mfc and HFC-227ea). Para lograr la exhaustividad, los compiladores del inventario deben determinar si los agentes espumantes de HFC son utilizados en cada sub-aplicación practicada en sus respectivos países, lo cual implica hasta 80 combinaciones teóricamente posibles (véase el Cuadro 7.4, Uso de los HFC en la industria del soplado de espumas). En la práctica, esta lista se reduce a 53 combinaciones potenciales realistas de sustancia/aplicación, aunque se pueden dar algunas variaciones regionales.

Nótese también que, en esta etapa, los métodos descritos no abordan explícitamente la utilización de mezclas aunque, en teoría, esto debería estar cubierto en una evaluación sustancia por sustancia. Al igual que para los

¹⁸ Allí donde la introducción sea lenta, el «año de introducción» debe entenderse como el primer año de utilización significativa.

refrigerantes (véase la Sección 7.5), el desafío consiste en monitorear y declarar las actividades. El empleo de mezclas está aumentando indudablemente y puede incluir, por ejemplo, al HFC-245fa y al HFC-365mfc. Las mezclas de HFC-365mfc con proporciones menores de HFC-227ea están siendo introducidas también por un fabricante. Sin embargo, en esta etapa es aún prematuro atribuir factores de emisión diferentes a estos sistemas.

7.4.2.6 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

El compilador de inventario debe mantener un método coherente para evaluar las emisiones durante un periodo de tiempo. Si no se establece, por ejemplo, ningún sistema para monitorear el desmantelamiento efectivo al lanzar el proceso del inventario, resulta muy difícil obtener los datos de manera retrospectiva al considerar un cambio de datos derivados mundial o regionalmente a datos específicos del país. Esta decisión deberá ser, por lo tanto, objeto de un cuidadoso análisis al inicio del proceso declarativo. Toda reformulación de los cálculos de las estimaciones debe realizarse de acuerdo con la orientación del Volumen 1, Capítulo 5. Por contraste, los cambios de enfoque en la determinación de los niveles de actividad son más fáciles de implementar retrospectivamente.

7.4.3 Evaluación de incertidumbre

Para los datos de la actividad relativos al consumo neto, los datos de ventas actuales indican que las estimaciones mundiales son exactas dentro de un margen del 10 por ciento, que las estimaciones regionales caen dentro del intervalo de 30 – 40 por ciento y que la incertidumbre de la información sobre el consumo específico de un país puede alcanzar hasta un 50 por ciento. Nótese que el cálculo del total de las emisiones para un año depende sólo parcialmente de la exactitud de las estimaciones sobre el nuevo consumo de ese año. El resto de las emisiones surge de los agentes espumantes confinados en bancos de espumas instaladas y de las espumas desmanteladas en ese año. La estimación de estos aportes depende fundamentalmente de la exactitud de los datos sobre el consumo histórico.

Al emplear el Enfoque A (enfoque por factor de emisión), los factores de emisión aumentan las incertidumbres, en particular si sólo se pueden utilizar factores por defecto. Dado que en muchos casos el desmantelamiento dispara la mayor parte de las emisiones, las hipótesis sobre el fin de vida de los productos pueden introducir los grados más altos de incertidumbre. Por esto, es muy importante que los compiladores del inventario mantengan registros de sus estimaciones de productos que contienen HFC y que desarrollen algún mecanismo para monitorear los desmantelamientos reales, en la medida de lo posible. Estos registros pueden ayudar a garantizar que, con el tiempo, las emisiones adicionales no sobrepasen el total de las entradas.

7.4.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

7.4.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, así como procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta aplicación se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* como se identifica en el Volumen 1, Capítulo 4.

Una de las mayores preocupaciones es garantizar que la preservación de la integridad de los datos regionales y mundiales se mantenga a través de la sumatoria de las estimaciones de los países individuales, y que una parte mayor del proceso de revisión de GC/CC deba estar implicada en este cotejamiento.

7.4.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Los factores de emisión deben declararse conjuntamente con la documentación sobre el desarrollo de los datos específicos del país. Las ventas de sustancias químicas a la industria del soplado de espumas deben declararse de tal modo que se respeten los requisitos de confidencialidad. La mayoría de los problemas de confidencialidad que surgen de cualquier proceso de recopilación de datos está relacionada con las actividades de mayor concentración. Par manejar estas situaciones, las emisiones de las espumas pueden declararse como cifra única, siempre y cuando el desarrollo de esa cifra pueda someterse a revisión bajo condiciones adecuadas de confidencialidad. Por supuesto, una declaración de emisiones consolidadas provenientes de la fabricación

(primer año), del uso (vida útil del producto) y del desmantelamiento (fin de vida útil), será siempre preferible para posibilitar el acento permanente en las mejoras realizadas en cada una de estas áreas. Si los compiladores del inventario emplean datos de la actividad derivados de bases de datos mundiales o regionales, deben declarar los resultados e informar sobre cómo se atribuyeron las emisiones al nivel del país.

7.5 REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO

7.5.1 Sustancias químicas cubiertas en esta área de aplicación

Los sistemas de refrigeración y aire acondicionado (RAC) pueden clasificarse en hasta seis dominios de sub-aplicaciones o categorías (UNEP-RTOC, 2003), aunque al nivel de un solo país se emplean típicamente menos sub-aplicaciones. Estas categorías corresponden a sub-aplicaciones que pueden diferir en ubicación y propósito y se enumeran a continuación:

- (ix) Refrigeración doméstica (es decir, hogares),
- (x) Refrigeración comercial, incluidos los diferentes tipos de equipos, desde las expendedoras hasta los sistemas centralizados de refrigeración en los supermercados.
- (xi) Procesos industriales que incluyen congeladores, almacenamiento de baja temperatura y bombas caloríficas industriales utilizadas en la alimentación, la petroquímica y otras industrias,
- (xii) Transporte refrigerado, incluidos los equipos y los sistemas de refrigeración utilizados en camiones, contenedores, frigoríficos y vagones,
- (xiii) Sistemas de aire acondicionado estacionario incluidos los sistemas aire-aire, las bombas caloríficas y los enfriadores-congeladores¹⁹ para aplicaciones residenciales y en la construcción.
- (xiv) Sistemas de aire acondicionado móvil utilizados en vehículos de pasajeros, cabinas de camiones, buses y trenes.²⁰

Para todas estas aplicaciones, diversos HFC están reemplazando progresivamente a los CFC y los HCFC. Por ejemplo, en los países desarrollados y en varios países en desarrollo, el HFC-134a ha reemplazado al CFC-12 en los sistemas de refrigeración doméstica, congeladores de alta presión y en los sistemas de aire acondicionado móvil y las mezclas de HFC tales como R-407C (HFC-32/HFC-125/HFC-134a) y R-410A (HFC-32/HFC-125) están reemplazando al HCFC-22, principalmente en el aire acondicionado estacionario. Las mezclas de HFC, R-404A (HFC-125/HFC-143a/HFC-134a) y R-507A (HFC-125/HFC-143a), han reemplazado a la mezcla R-502 (CFC-22/CFC-115) y al HCFC-22 en la refrigeración comercial. También se usan otras sustancias diferentes de los HFC para reemplazar los CFC y HCFC tales como el isobutano (HC-600a) en la refrigeración doméstica o el amoníaco en la refrigeración industrial.

Está utilizándose una gran cantidad de mezclas que contienen HFC y/o PFC están siendo utilizadas en las aplicaciones de Refrigeración y Aire acondicionado. En el Cuadro 7.8 se muestra las mezclas más comunes.

¹⁹ En los grandes edificios comerciales (incluidos los hoteles, las oficinas, los hospitales, las universidades, etc.), el aire acondicionado de confort es provisto por enfriadores-congeladores de agua acoplados al sistema de ventilación y de distribución de aire.

²⁰ Es probable que para muchos países, la subaplicación de los sistemas de aire acondicionado móvil represente la fracción más grande de las emisiones de HFC dentro de la aplicación de refrigeración y aire acondicionado. Véase la Sección 7.5.2.4, Aplicación de los métodos de Nivel 2 – El ejemplo del Aire acondicionado móvil (MAC, del inglés, *Mobile Air Conditioning*), para ver un ejemplo sobre cómo calcular estas emisiones. El lector podrá ver que para aproximar estas emisiones se necesita una información limitada, que consiste esencialmente en una multiplicación del factor de emisión promedio por la cantidad de vehículos con aire acondicionado a base de HFC, añadiendo posibles emisiones relacionadas con la gestión de los contenedores, de las cargas respectivas y del fin de la vida útil.

CUADRO 7.8
MEZCLAS (MUCHAS CONTIENEN HFC Y/O PFC)

Mezcla	Componentes	Composición (%)
R-400	CFC-12/CFC-114	Debe especificarse ¹
R-401A	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124	(53,0/13,0/34,0)
R-401B	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124	(61,0/11,0/28,0)
R-401C	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124	(33,0/15,0/52,0)
R-402A	HFC-125/HC-290/HCFC-22	(60,0/2,0/38,0)
R-402B	HFC-125/HC-290/HCFC-22	(38,0/2,0/60,0)
R-403A	HC-290/HCFC-22/PFC-218	(5,0/75,0/20,0)
R-403B	HC-290/HCFC-22/PFC-218	(5,0/56,0/39,0)
R-404A	HFC-125/HFC-143a/HFC-134a	(44,0/52,0/4,0)
R-405A	HCFC-22/ HFC-152a/ HCFC-142b/PFC-318	(45,0/7,0/5,5/42,5)
R-406A	HCFC-22/HC-600a/HCFC-142b	(55,0/14,0/41,0)
R-407A	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	(20,0/40,0/40,0)
R-407B	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	(10,0/70,0/20,0)
R-407C	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	(23,0/25,0/52,0)
R-407D	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	(15,0/15,0/70,0)
R-407E	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	(25,0/15,0/60,0)
R-408A	HFC-125/HFC-143a/HCFC-22	(7,0/46,0/47,0)
R-409A	HCFC-22/HCFC-124/HCFC-142b	(60,0/25,0/15,0)
R-409B	HCFC-22/HCFC-124/HCFC-142b	(65,0/25,0/10,0)
R-410A	HFC-32/HFC-125	(50,0/50,0)
R-410B	HFC-32/HFC-125	(45,0/55,0)
R-411A	HC-1270/HCFC-22/HFC-152a	(1,5/87,5/11,0)
R-411B	HC-1270/HCFC-22/HFC-152a	(3,0/94,0/3,0)
R-411C	HC-1270/HCFC-22/HFC-152a	(3,0/95,5/1,5)
R-412A	HCFC-22/PFC-218/HCFC-142b	(70,0/5,0/25,0)
R-413A	PFC-218/HFC-134a/HC-600a	(9,0/88,0/3,0)
R-414A	HCFC-22/HCFC-124/HC-600a/HCFC-142b	(51,0/28,5/4,0/16,5)
R-414B	HCFC-22/HCFC-124/HC-600a/HCFC-142b	(50,0/39,0/1,5/9,5)
R-415A	HCFC-22/HFC-152a	(82,0/18,0)
R-415B	HCFC-22/HFC-152a	(25,0/75,0)
R-416A	HFC-134a/HCFC-124/HC-600	(59,0/39,5/1,5)
R-417A	HFC-125/HFC-134a/HC-600	(46,6/50,0/3,4)
R-418A	HC-290/HCFC-22/HFC-152a	(1,5/96,0/2,5)
R-419A	HFC-125/HFC-134a/HE-E170	(77,0/19,0/4,0)
R-420A	HFC-134a/HCFC-142b	(88,0/12,0)
R-421A	HFC-125/HFC-134a	(58,0/42,0)
R-421B	HFC-125/HFC-134a	(85,0/15,0)
R-422A	HFC-125/HFC-134a/HC-600a	(85,1/11,5/3,4)
R-422B	HFC-125/HFC-134a/HC-600a	(55,0/42,0/3,0)
R-422C	HFC-125/HFC-134a/HC-600a	(82,0/15,0/3,0)
R-500	CFC-12/HFC-152a	(73,8/26,2)
R-501	HCFC-22/CFC-12	(75,0/25,0)
R-502	HCFC-22/CFC-115	(48,8/51,2)
R-503	HFC-23/CFC-13	(40,1/59,9)
R-504	HFC-32/CFC-115	(48,2/51,8)
R-505	CFC-12/HCFC-31	(78,0/22,0)
R-506	CFC-31/CFC-114	(55,1/44,9)
R-507A	HFC-125/HFC-143a	(50,0/50,0)
R-508A	HFC-23/PFC-116	(39,0/61,0)
R-508B	HFC-23/PFC-116	(46,0/54,0)
R-509A	HCFC-22/PFC-218	(44,0/56,0)

¹ R-400 puede tener varias proporciones de CFC-12 y CFC-14. Es necesario especificar la composición exacta, p. ej., R-400 (60/40).

7.5.2 Cuestiones metodológicas

7.5.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Como se analizó ya en la sección introductoria de este capítulo, los dos métodos, el de Nivel 1 y el de Nivel 2, producen estimaciones de emisiones *reales* en vez de estimaciones de emisiones *potenciales*. Las estimaciones reales, que dan cuenta del retardo entre el consumo y las emisiones, tienen una importancia especial tanto para el sector de la refrigeración como para el del aire acondicionado, debido a la retención potencialmente prolongada de los refrigerantes en los productos y los equipos utilizados en estas aplicaciones.

En el árbol de decisión de la Figura 7.6 se muestran las alternativas disponibles para las aplicaciones de la refrigeración y del aire acondicionado.

NIVEL 1

Nivel 1 a/b

Se espera que en muchos países, la refrigeración y el aire acondicionado lleguen a ser *categorías principales*. La consecuencia de esta conclusión, considerando el Cuadro 7.2 y el árbol de decisión de la Figura 7.6, es que para cumplir la tarea declarativa, se necesitarán, tanto los datos específicos del país como los datos de la actividad derivados mundial o regionalmente al nivel de las sub-aplicaciones (datos desagregados). Sin embargo, en los raros casos en que la aplicación de la refrigeración y el aire acondicionado sea mucho menos significativa, se debería disponer de un método adecuado de Nivel 1 para los datos agregados.

De la experiencia en el estudio de la dinámica del consumo de refrigerantes y de los bancos en varios países (UNEP-RTOC, 2003; Ashford, Clodic, Kuijpers y McCulloch, 2004; y materiales de soporte), es posible derivar las hipótesis que permiten evaluar el uso de los refrigerantes, lo cual puede ayudar a evaluar las ventas de un refrigerante dado al nivel de un país. Un enfoque híbrido de Nivel 1 a/b así puede utilizar las hipótesis siguientes:

1. El servicio de mantenimiento de los equipos que contienen el refrigerante no comienza hasta 3 años después de la instalación.
2. Las emisiones de los refrigerantes confinados en bancos alcanzan un promedio del 15 por ciento anual para toda el área de la aplicación RAC. Se estima que esta hipótesis corresponde a un promedio ponderado de todas las sub-aplicaciones, para las cuales se muestran los factores de emisión en el Cuadro 7.9.
3. En un mercado maduro, dos tercios de las ventas de un refrigerante se destinan al mantenimiento y un tercio se usa para cargar los equipos nuevos. Un mercado maduro es uno en el cual los equipos de refrigeración que emplean sustitutos de las SAO son de amplio uso y existen relaciones entre proveedores y usuarios para comprar y hacer el mantenimiento de los equipos.
4. La vida útil promedio de los equipos es de 15 años. Se estima que esta hipótesis corresponde también a un promedio ponderado de todas las sub-aplicaciones.
5. La transición completa hacia una nueva tecnología de refrigerante se efectuará a lo largo de un periodo de 10 años. Se piensa, sobre la base de la experiencia actual, que esta hipótesis es válida para una sola sustancia química y en un solo país.

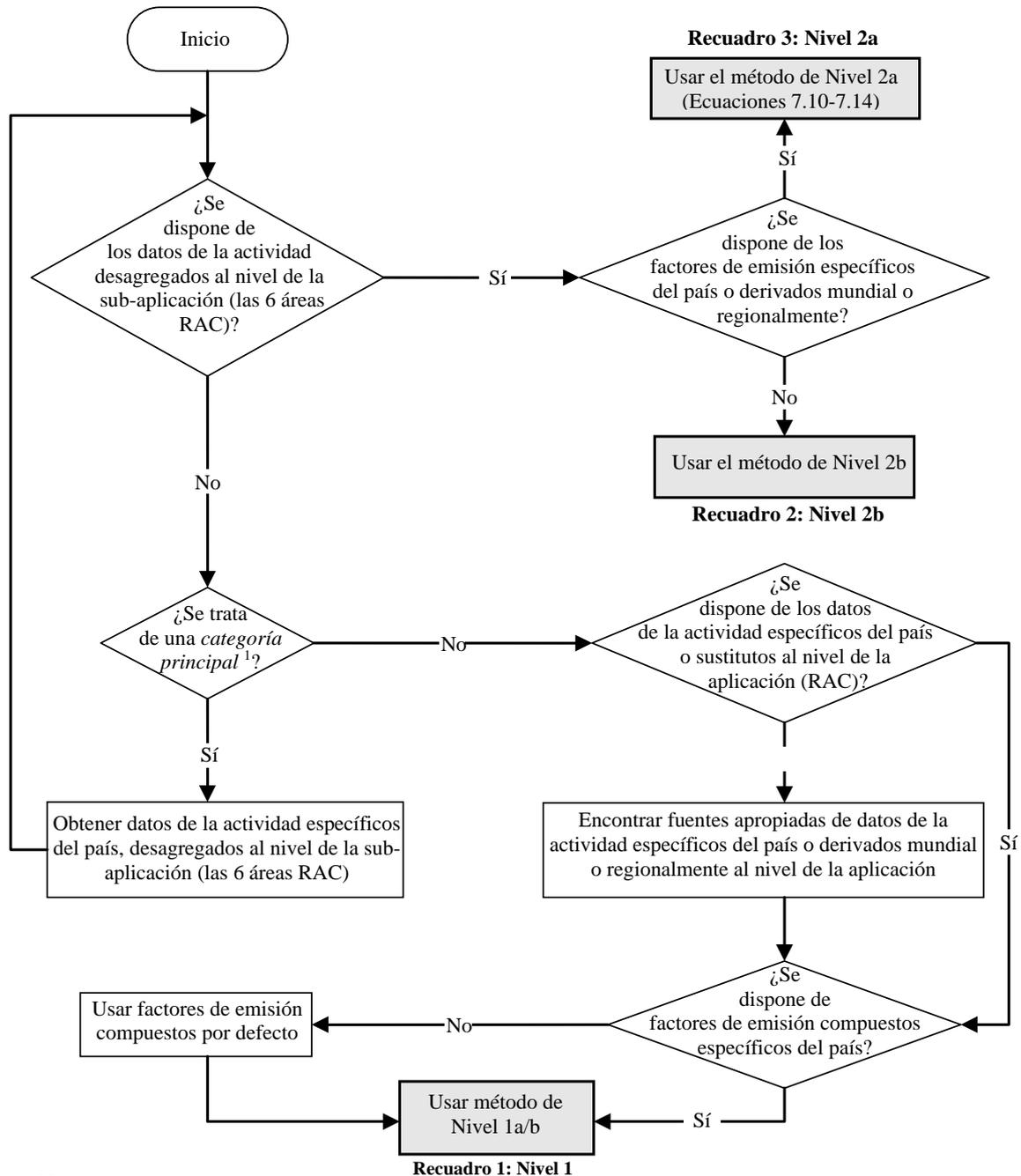
Con estas hipótesis instauradas, es posible derivar las emisiones si se dispone de los datos siguientes:

- Ventas de un refrigerante específico en el año de la declaración
- Año de la introducción del refrigerante
- Índice de crecimiento de las ventas de equipos nuevos (supuesta generalmente como lineal durante el periodo de evaluación)
- Porcentaje supuesto de los equipos nuevos exportados
- Porcentaje supuesto de los equipos nuevos importados

El método 1 a/b calcula luego retrospectivamente el desarrollo de bancos de un refrigerante a partir del año declarativo en curso hasta el año de su introducción. Al graficar este periodo, el método modela también la transición de las ventas hacia los equipos nuevos (inicialmente de 100 por ciento) hacia la situación de un

supuesto mercado maduro, donde se sabe, por experiencia, que las ventas son de un 33 por ciento para los equipos nuevos y de un 67 por ciento para las necesidades del mantenimiento. Se supone que la transición hacia una nueva tecnología de refrigerante se refleja de manera idéntica en todo equipo importado.

Figura 7.6 **Árbol de decisión para las emisiones reales provenientes de la aplicación de refrigeración y aire acondicionado (RAC)**

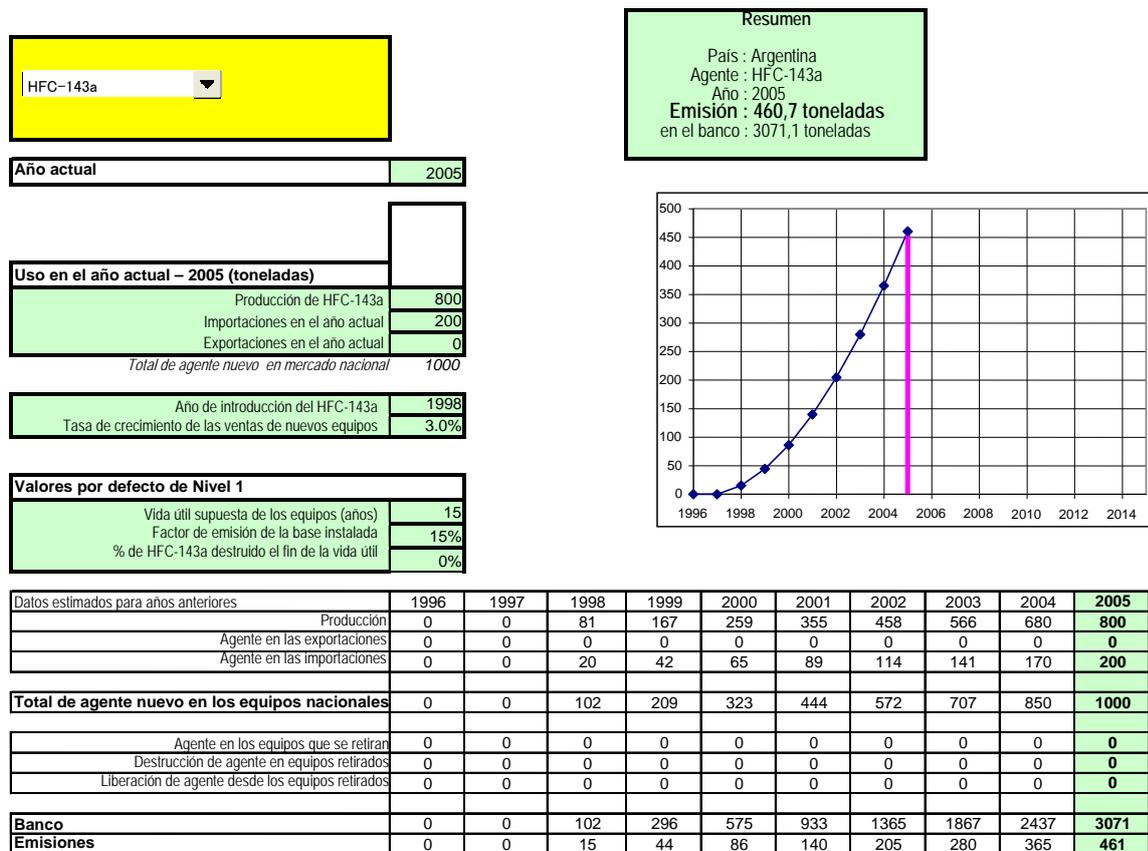


Nota :
 1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de Categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

El siguiente ejemplo de hoja de cálculo indica cómo el método 1 a/b estimaría una serie temporal de emisiones de siete años del refrigerante seleccionado, a partir de su introducción en 1998, sabiendo que hubo ventas de 1 000 toneladas en 2005. La hoja de cálculo contenida en el CDROM de la *Directrices de 2006* reproduce este

cálculo y, para completarla, hay que disponer -al nivel del país- de los conjuntos de datos derivados mundial o regionalmente²¹, tanto al nivel de la aplicación como al nivel de las sub-aplicaciones consolidadas.

Figura 7.7 Ejemplo de hoja de cálculos para la evaluación de Nivel 1a/b



En este ejemplo hipotético, la producción de un refrigerante específico es de 800 toneladas con un añadido de 200 toneladas en los equipos importados en 2005, lo cual da un consumo total de 1 000 toneladas. Sobre la base de este consumo y conociendo el año de introducción del refrigerante, se puede ver que, basándose en el desarrollo de bancos durante los siete años anteriores, el método de Nivel 1 a/b predice emisiones de 161 toneladas. En 2005, el banco se estima en 3 071 toneladas.

Nótese que, aún cuando estos métodos permiten estimar las emisiones cuando los datos son difíciles de obtener, sigue siendo necesario disponer de una evaluación exacta de los datos de la actividad relativos al consumo neto, específicos del país o derivados mundial o regionalmente. Cuando se considera el contenido del Cuadro 7.8 (en particular, cuando algunas de estas mezclas pueden estar siendo importadas en los equipos), es claro que en ese mercado debe existir un conocimiento considerable de la selección tecnológica. Los proveedores de refrigerantes deben estar en condiciones de asistir a los compiladores del inventario en esta área, pero la carga de desarrollar conjuntos de datos de la actividad de alta calidad, puede llevar a los compiladores a concluir que las opciones de Nivel 2 proporcionan más valor con poco trabajo adicional. En efecto, allí donde se busquen datos validados mundial o regionalmente, esto constituye normalmente una reconstitución de los datos originalmente desagregados al nivel de las sub-aplicaciones, de modo que puede ser más lógico aprovechar o completo la ventaja de esta versatilidad y abordar un enfoque de Nivel 2 desde el comienzo.

²¹ Como se indica en el Recuadro 7.1, la inclusión en la base de datos sobre factores de emisión del IPCC (EFDB) indica una adhesión general al proceso debido, pero es una *buena práctica* que los países garanticen que todos los datos tomados de la EFDB sean los apropiados para sus propias circunstancias nacionales.

NIVEL 2

Generalidades

La metodología de Nivel 2a:

- a) Toma en cuenta el retiro o la disminución de la circulación de los CFC y los HCFC, según el calendario del Protocolo de Montreal y de las eventuales reglamentaciones nacionales o regionales, para determinar las opciones de elección del refrigerante para todas las aplicaciones;
- b) Define la carga típica de refrigerante y la duración de la vida útil del equipo por sub-aplicación;
- c) Define los factores de emisión para la carga de refrigerante durante la operación, durante el mantenimiento y al término de la vida útil.

El cálculo de las emisiones producidas a lo largo de toda la vida útil de los equipos requiere una derivación del total de las existencias de estos equipos, independientemente de su antigüedad. De esta manera, se determina el banco por sub-aplicación.

Para lograr una coherencia, se sugiere derivar el mercado anual de los refrigerantes de las cantidades de refrigerantes cargados en los equipos nuevos y de las cantidades de refrigerantes utilizadas para dar servicio de mantenimiento a las existencias totales de los equipos.

El enfoque por equilibrio de masas de Nivel 2b se apoya en el conocimiento de las ventas anuales de refrigerantes, de los refrigerantes destruidos y todo cambio que pueda haber ocurrido en las existencias de los equipos (esto es, ventas de equipos nuevos y desmantelamiento de equipos), sobre la base de las sub-aplicaciones. No se requiere un conocimiento absoluto de las existencias de equipos ni de los factores de emisión asociados con cada sub-aplicación de refrigeración y aire acondicionado.

En el resto de esta sección se dan ejemplos sobre cómo se puede aplicar la metodología de Nivel 2.

Nivel 2b – Enfoque por equilibrio de masas

El enfoque por equilibrio de masas es particularmente aplicable a la refrigeración y al aire acondicionado debido a la significativa componente de servicio requerida para dar mantenimiento a los equipos. El enfoque general de Nivel 2b ha sido introducido en el Capítulo 1 del Volumen 3.

Para el enfoque por equilibrio de masas, las cuatro etapas de las emisiones (carga, operación, mantenimiento y fin de vida útil) identificadas más arriba se abordan en la siguiente ecuación simplificada:

<p>ECUACIÓN 7.9</p> <p>DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES DE LOS REFRIGERANTES POR EQUILIBRIO DE MASAS</p> <p><i>Emisiones = Ventas anuales de refrigerante nuevo – Carga total de los equipos nuevos</i></p> <p><i>+ Carga total original de los equipos retirados – Cantidad destruida intencionalmente</i></p>

Las *Ventas anuales de refrigerante nuevo* corresponden a la cantidad de sustancia química que se introduce en el sector de la refrigeración en un país particular, en un año determinado. Incluye a todas las sustancias químicas utilizadas para llenar o recargar los equipos, ya sea la carga en la fábrica, la carga en los equipos después de la instalación o las utilizadas para recargar los equipos durante el servicio de mantenimiento. No incluye a las sustancias químicas recicladas o devueltas.

La *Carga total de los equipos nuevos* corresponde a la suma de las cargas completas de todos los equipos nuevos que se venden en un país en un año determinado. Esto incluye tanto las sustancias químicas necesarias para llenar los equipos en la fábrica como las sustancias químicas necesarias para llenar los equipos después de la instalación. No incluye las emisiones durante la carga ni la sustancia química utilizada para recargar los equipos durante el mantenimiento.

La *Carga total original de los equipos retirados* corresponde a la suma de las cargas completas de todos los equipos desmantelados en un país en un año determinado. Supone que los equipos han sido mantenidos adecuadamente hasta su desmantelamiento y que, por lo tanto, contienen la misma cantidad de carga original.

La *Cantidad destruida intencionalmente* corresponde a la cantidad de sustancias químicas destruidas correctamente mediante una tecnología reconocida de destrucción.

En cada país hay existencias de equipos de refrigeración que contienen una existencia efectiva de una sustancia química (*banco*). Por lo tanto, las ventas anuales de sustancias químicas refrigerantes nuevas deben utilizarse para uno de los tres propósitos siguientes:

- Aumentar el tamaño de la existencia de sustancias químicas (*banco*) en uso (incluida la sustitución de la carga previa de los equipos con una sustancia química determinada)

- Reemplazar aquella fracción de las existencias de sustancia química del último año emitida hacia la atmósfera (por ejemplo, a través de fugas o de pérdidas durante el servicio de mantenimiento)
- Aprovisionar la carga inicial de la cadena de abastecimiento o las reservas

Dado que en un mercado estabilizado se requiere raramente el tercer elemento de esta lista, no se lo incluye en la Ecuación 7.9. Si fuere el caso, a la Ecuación 7.9 se le pueden añadir términos que den cuenta de la constitución de reservas y de la reutilización.

La diferencia entre la cantidad total de gas vendido y la cantidad de ese gas utilizado para incrementar el tamaño de las existencias de sustancia química, es igual a la cantidad de sustancia química emitida hacia la atmósfera. El aumento en el tamaño de las existencias de sustancia química es igual a la diferencia entre las cargas totales de los equipos nuevos y de los equipos que se retiran.

Al utilizar los datos sobre las ventas actuales e históricas de gas, en vez de los factores de emisión referidos en la bibliografía, la ecuación refleja las emisiones provenientes del ensamblado, la operación y la eliminación, en el momento y en el lugar en que éstas ocurren. Los factores de emisión por defecto pueden no ser exactos, pues los índices de emisión pueden variar considerablemente de un país a otro, e incluso dentro de un mismo país.

Como se ha discutido ya en el Capítulo 1, Sección 1.5 del Volumen 3, uno de los inconvenientes del enfoque por equilibrio de masas es que puede subestimar las emisiones cuando las existencias de los equipos están creciendo, debido al retraso entre el momento en que ocurren las emisiones y el momento en que se las detecta (a través del servicio de mantenimiento). Esta subestimación será relativamente grande en los países donde se hayan usado los HFC en los equipos durante menos de diez años, pues una gran parte de los equipos habrá experimentado fugas sin jamás haber sido sometidos a mantenimiento. Por esto, se alienta a los países que han usado los HFC durante menos de diez años, a estimar las emisiones utilizando enfoques alternativos. En general, mientras más prolongado haya sido el uso de los HFC en un país, más pequeña será la subestimación asociada al enfoque por equilibrio de masas. Una vez que los equipos que contienen HFC comienzan a ser retirados, la subestimación disminuye a un nivel bajo.

La Ecuación 7.9 puede aplicarse, tanto a los tipos individuales de equipos (sub-aplicaciones), como, más generalmente, a todos los tipos de equipos de aire acondicionado y de refrigeración de un país (es decir, el Nivel 1b), según el nivel de desagregación de los datos disponibles. Si se dispone de datos desagregados, las estimaciones de las emisiones desarrolladas para cada tipo de equipo y de sustancia química se suman para determinar el total de las emisiones para la aplicación.

Nivel 2a – Enfoque por factor de emisión

En un cálculo de Nivel 2a, las emisiones de los refrigerantes en el año t , a partir de cada una de las seis²² sub-aplicaciones de sistemas de refrigeración y aire acondicionado, se calculan por separado. Estas emisiones son el resultado de:

- $E_{\text{contenedores},t}$ = emisiones relacionadas con la gestión de contenedores refrigerados
- $E_{\text{carga},t}$ = emisiones relacionadas con la carga de refrigerante: conexión y desconexión del contenedor refrigerado y del equipo nuevo a ser cargado.
- $E_{\text{vida útil},t}$ = emisiones anuales desde los bancos de refrigerantes asociados con las seis sub-aplicaciones durante la operación (emisiones fugitivas y rupturas) y el mantenimiento.
- $E_{\text{fin de vida útil},t}$ = emisiones durante la eliminación del sistema

Todas estas cantidades se expresan en kilogramos y deben calcularse para cada tipo de HFC utilizado en las seis sub-aplicaciones diferentes.

ECUACIÓN 7.10
RESUMEN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN

$$E_{\text{total},t} = E_{\text{contenedores},t} + E_{\text{Carga},t} + E_{\text{vida útil},t} + E_{\text{fin de vida útil},t}$$

Más abajo se bosquejan los métodos para estimar los índices de emisión promedio para los sectores mencionados y deben calcularse -refrigerante por refrigerante- para todos los equipos, sin importar su antigüedad. Si no se dispone de información sobre las emisiones de los contenedores o de la carga, los compiladores del inventario

²² Se pueden usar más de seis sub-aplicaciones, según el nivel de los datos desagregados disponibles.

pueden estimar estas pérdidas como porcentaje del banco y revisar el factor de emisión de vida útil (operación más mantenimiento) en la Ecuación 7.13, más abajo, para dar cuenta de tales pérdidas.

Gestión del refrigerante de los contenedores

Las emisiones relacionadas con la gestión del refrigerante de los contenedores comprenden todas las emisiones relativas a las transferencias de refrigerantes de los contenedores a granel (típicamente, de 40 toneladas) hacia las más pequeñas capacidades donde las masas varían desde 0,5 kg. (latas desechables) hasta una tonelada (contenedores) y también de las cantidades remanentes —los restos gaseosos y/o líquidos de refrigerante— que quedan en los diversos contenedores y que son recuperados o emitidos.

ECUACIÓN 7.11
FUENTES DE EMISIONES DE LA GESTIÓN DE LOS CONTENEDORES

$$E_{\text{contenedores},t} = RM_t \cdot \frac{c}{100}$$

Donde:

$E_{\text{contenedores},t}$ = emisiones desde todos los contenedores de HFC en el año t , kg.

RM_t = mercado de los HFC para los equipos nuevos y el mantenimiento de todas las aplicaciones de refrigeración en el año t , kg.

c = factor de emisión de la gestión de los contenedores de HFC del mercado actual de los refrigerantes, porcentaje

Las emisiones relacionadas con la gestión completa del refrigerante de los contenedores se estiman entre 2 y 10 por ciento del mercado de los refrigerantes.

Emisiones de la carga refrigerante de los equipos nuevos

Las emisiones de los refrigerantes debidas al proceso de carga de equipos nuevos están relacionadas con el proceso de conexión y desconexión del contenedor refrigerado de los equipos de carga durante la carga inicial.

ECUACIÓN 7.12
FUENTES DE EMISIONES DURANTE LA CARGA DE EQUIPOS NUEVOS

$$E_{\text{carga},t} = M_t \cdot \frac{k}{100}$$

Donde:

$E_{\text{carga},t}$ = emisiones producidas durante la fabricación/el ensamblado del sistema en el año t , kg.

M_t = cantidad de HFC cargado en los equipos nuevos en el año t (por sub-aplicación), kg.

k = factor de emisión de las pérdidas de HFC cargado en los equipos nuevos durante el ensamblado (por sub-aplicación), porcentaje

Nota: las emisiones relacionadas con el proceso de conexión y desconexión durante el servicio de mantenimiento, están cubiertas por la ecuación 7.13

La cantidad cargada (M_t) debe incluir todos los sistemas que son llenados en el país, incluidos aquellos que se producen para exportación. No deben considerarse los sistemas que se importan precargados.

El intervalo de variación típico para el factor de emisión k es de 0,1 a 3 por ciento. Las emisiones que se producen durante el proceso de carga son muy diferentes para los sistemas ensamblados en la fábrica, donde las emisiones son bajas (véase el Cuadro 7.9), que para los sistemas armados en el lugar de instalación, donde las emisiones pueden alcanzar hasta un 2 por ciento.

Emisiones durante la vida útil (operación y mantenimiento)

Las fugas anuales desde los bancos de refrigerantes representan emisiones fugitivas, es decir, fugas desde empalmes, juntas, sellado de válvulas, etc., pero también rupturas de tuberías o de intercambiadores térmicos que conducen a una liberación parcial o total del refrigerante hacia la atmósfera. Además de las fallas en los componentes, tales como el fundido del compresor, los equipos reciben mantenimiento principalmente cuando la capacidad de refrigeración es muy baja debido a la pérdida de refrigerante por emisiones fugitivas. Según la aplicación, el mantenimiento se realizará, por ejemplo, cada año o cada tres años, o a veces nunca durante toda la vida útil, como es el caso de las sub-aplicaciones de refrigeración doméstica. Para algunas sub-aplicaciones, las fugas deben repararse durante el mantenimiento y quizá sea necesario recuperar refrigerante, de modo que al estimar los factores de emisión debe tomarse en cuenta la eficiencia de recuperación. Además, conocer los requerimientos anuales de refrigerante para el mantenimiento por sub-aplicación permite determinar el mercado

nacional de los refrigerantes a través de la suma de las cantidades cargadas en los equipos nuevos (véase el párrafo Garantía de calidad/Control de calidad). Se aplica la siguiente fórmula de cálculo:

ECUACIÓN 7.13
FUENTES DE EMISIONES DURANTE LA VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS

$$E_{\text{vida útil}, t} = B_t \cdot \frac{x}{100}$$

Donde:

$E_{\text{vida útil}, t}$ = cantidad de HFC emitido durante la operación del sistema en el año t , kg.

B_t = cantidad de HFC confinado en bancos de equipos existentes en el año t (por sub-aplicación), kg.

x = índice de emisión anual (es decir, factor de emisión) de HFC de cada banco de sub-aplicación durante el tiempo de operación que da cuenta de fugas y emisiones anuales promedio durante el mantenimiento, porcentaje

Al calcular el banco de refrigerante (B_t), todos los sistemas en operación en el país (producidos nacionalmente e importados) deben ser considerados sub-aplicación por sub-aplicación.

En el Cuadro 7.9 se proporcionan ejemplos de índices de fugas (x) típicos para varios tipos de equipos, que describen las respectivas sub-aplicaciones de refrigeración.

Emisiones al término de la vida útil

La cantidad de refrigerante liberado de los sistemas desechados depende de la cantidad de refrigerante restante en el momento de la eliminación y de la porción que se recupera. Desde el punto de vista técnico, se puede recuperar la mayor parte del fluido restante, pero la recuperación al término de la vida útil depende de las reglamentaciones, los incentivos económicos y del nivel de conciencia ambiental.

La fórmula siguiente (Ecuación 7.14) es aplicable a los cálculos para estimar las emisiones en el momento de la eliminación:

ECUACIÓN 7.14
EMISIONES AL FIN DE LA VIDA ÚTIL DEL SISTEMA

$$E_{\text{fin de vida útil}, t} = M_{t-d} \cdot \frac{p}{100} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{rec}, d}}{100}\right)$$

Donde:

$E_{\text{fin de vida útil}, t}$ = cantidad de HFC emitido en el momento de la eliminación del sistema en el año t , kg.

M_{t-d} = cantidad de HFC cargada inicialmente en los sistemas nuevos instalados en el año $(t-d)$, kg.

p = carga residual de HFC en el equipo que se está eliminando, expresada en porcentaje de la carga total, porcentaje

$\eta_{\text{rec}, d}$ = eficiencia de recuperación en el momento de la eliminación, que corresponde al cociente entre el HFC recuperado y el HFC confinado en el sistema, porcentaje

Al estimar la cantidad de refrigerante (M_{t-d}) cargada inicialmente en los sistemas, deben tomarse en cuenta todos los sistemas cargados en el país (para el mercado nacional) y los sistemas importados precargados.

7.5.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Método de Nivel 1a/b

Como se ha explicado en la Sección 7.5.2.1, Elección del método, para completar un método de Nivel 1 se requiere un factor de emisión compuesto. Dado que las sub-aplicaciones dentro de la aplicación de refrigeración y aire acondicionado son relativamente heterogéneas, la validez de cada uno de los factores de emisión compuestos debe ponerse en duda, a menos que tome en consideración la mezcla particular de sub-aplicaciones en el país. Por lo tanto, es una *buena práctica* desarrollar los factores de emisión compuestos sobre la base de investigaciones realizadas dentro del país. En el ejemplo de la hoja de cálculo contenida en el *CDROM de las Directrices de 2006*, adjunto a estas *Directrices*, se utiliza el amplio factor de emisión por defecto de 15 por ciento del banco anual.

Método de Nivel 2a

La *buena práctica* para elegir los factores de emisión consiste en utilizar datos específicos del país, basándose en la información proporcionada por los fabricantes de equipos, los proveedores de servicios, las compañías de eliminación y los estudios independientes. Cuando no se dispone de datos nacionales, los compiladores del inventario deben utilizar los factores de emisión por defecto que se muestran en el Cuadro 7.9, Estimaciones para la carga, la vida útil y los factores de emisión, que resume las mejores estimaciones de carga, vida útil y factores de emisión de los equipos. Estos valores por defecto reflejan el estado actual del conocimiento sobre la industria y se proveen en forma de intervalos de valores posibles en vez de estimaciones precisas. Se intenta que el extremo inferior en los intervalos de la vida útil y de los factores de emisión represente la situación en los países desarrollados, y que el extremo superior de cada intervalo represente la situación dentro de los países en desarrollo. Los compiladores del inventario deben escoger dentro del intervalo de acuerdo con las condiciones específicas del país y documentar las razones para adoptar cada elección. Si los datos recopilados en el campo no pueden desglosarse al nivel de las sub-aplicaciones, como en el Cuadro 7.9, es una *buena práctica* recurrir al dictamen de expertos para estimar la parte relativa de cada tipo de equipo y calcular los factores de emisión compuestos, ponderados según esa proporción relativa, tal como se propone para el Nivel 1a/b, o bien, utilizar el factor de emisión apropiado para el tipo de equipo más común.

CUADRO 7.9 ESTIMACIONES¹ PARA LA CARGA, VIDA ÚTIL Y FACTORES DE EMISIÓN EN LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO						
sub-aplicación	Carga (kg.)	Vida útil (años) ²	Factores de emisión (% de la carga inicial/año) ³		Emisión de fin de vida útil (%)	
Factor de la Ecuación	(M)	(d)	(k)	(x)	($\eta_{rec,d}$)	(p)
			Emisión inicial	Emisión durante la operación	Eficiencia de recuperación ⁴	Resto de la carga inicial
Refrigeración doméstica	$0,05 \leq M \leq 0,5$	$12 \leq d \leq 20$	$0,2 \leq k \leq 1$	$0,1 \leq x \leq 0,5$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$0 < p < 80$
Aplicaciones comerciales autónomas	$0,2 \leq M \leq 6$	$10 \leq d \leq 15$	$0,5 \leq k \leq 3$	$1 \leq x \leq 15$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$0 < p < 80$
Refrigeración comercial mediana y grande	$50 \leq M \leq 2000$	$7 \leq d \leq 15$	$0,5 \leq k \leq 3$	$10 \leq x \leq 35$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$50 < p < 100$
Transporte refrigerado	$3 \leq M \leq 8$	$6 \leq d \leq 9$	$0,2 \leq k \leq 1$	$15 \leq x \leq 50$	$0 < \eta_{rec,d} < 70$	$0 < p < 50$
Refrigeración industrial incluido el Procesamiento de alimentos y almacenamiento a baja temperatura	$10 \leq M \leq 10\ 000$	$15 \leq d \leq 30$	$0,5 \leq k \leq 3$	$7 \leq x \leq 25$	$0 < \eta_{rec,d} < 90$	$50 < p < 100$
Congeladores	$10 \leq M \leq 2000$	$15 \leq d \leq 30$	$0,2 \leq k \leq 1$	$2 \leq x \leq 15$	$0 < \eta_{rec,d} < 95$	$80 < p < 100$
Aire acondicionado residencial y comercial, incluidas las bombas térmicas	$0,5 \leq M \leq 100$	$10 \leq d \leq 20$	$0,2 \leq k \leq 1$	$1 \leq x \leq 10$	$0 < \eta_{rec,d} < 80$	$0 < p < 80$
Aire acondicionado móvil	$0,5 \leq M \leq 1,5$	$9 \leq d \leq 16$	$0,2 \leq k \leq 0,5$	$10 \leq x \leq 20^5$	$0 < \eta_{rec,d} < 50$	$0 < p < 50$

¹ Sobre la base de la información contenida en *UNEP RTOC Reports* (UNEP-RTOC, 1999; UNEP-RTOC, 2003)

^{2,3} Valor inferior para los países desarrollados y valor superior para los países en desarrollo

⁴ El umbral inferior (0%) destaca el hecho de que en algunos países no hay recuperación.

⁵ Schwarz y Harnisch (2003) estiman índices de fugas del 5,3% al 10,6%; estos índices se aplican sólo a los acondicionadores de aire móviles de segunda generación instalados en los modelos europeos a partir de 1996.

7.5.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Método de Nivel 1a/b

Los compiladores del inventario de los países que fabrican sustancias químicas refrigerantes deben estimar la Ventas anuales de nuevos refrigerantes utilizando la información proporcionada por los fabricantes de sustancias químicas. Los datos sobre las sustancias químicas importadas deben recopilarse a partir de las estadísticas aduaneras, de los importadores o de los distribuidores.

La Carga total de los equipos nuevos puede estimarse utilizando:

- Información de los fabricantes y/o importadores de equipos sobre la carga total de los equipos que fabrican o importan; o bien
- Información de los fabricantes y/o importadores de sustancias químicas sobre sus ventas a los fabricantes de equipos y a los distribuidores.

Hay que garantizar que esta información incluya sólo las ventas en tanto que refrigerantes, no como sustancias de alimentación a procesos u otros usos. Se supone que la diferencia que existe entre el total de las ventas de refrigerante nuevo y el que está cargado en equipos nuevos se utiliza para el mantenimiento. Si no se dispone de información respecto de las cargas de los equipos nuevos, se puede suponer que, en un mercado maduro, dos tercios del refrigerante se emplean para el mantenimiento, mientras que un tercio se utiliza en los equipos nuevos. Sin embargo, la adopción de tales hipótesis debe acompañarse de alguna justificación relativa al estado del mercado y a la probable bondad de su aplicación.

Métodos de Nivel 2

Tanto los métodos de Nivel 2a como los de Nivel 2b requieren el desarrollo de una matriz para cada sub-aplicación, basada en el tipo de equipo, por un lado, y en el tipo de refrigerante, por el otro. Para derivar la cantidad de piezas de equipos para todas las clases de antigüedad, se requiere también de datos históricos de actividad sobre el consumo neto. La actualización anual de la matriz permite recalcular cada año todos los tipos de emisión, como se detalla en las Ecuaciones 7.10 a 7.14. Más aún, la elección del refrigerante debe ser evaluada año tras año, debido a los cambios en las reglamentaciones nacionales (relacionadas a menudo con el retiro de circulación de los CFC y los HCFC en fechas diferentes) y a cambios en las opciones tecnológicas. En algunos países, los reglamentos sobre los refrigerantes de HFC han comenzado a entrar en vigencia.

Allí donde los datos específicos del país no puedan ser analizados a este nivel, para facilitar los métodos de Nivel 2 se pueden obtener los datos de la actividad validados mundial o regionalmente, a partir de bases de datos bien reputadas, basándose en las cargas y en la vida útil de los refrigerantes, para todas las sub-aplicaciones, según el Cuadro 7.9. Generalmente, un cierto número de refinamientos son necesarios en función de las circunstancias particulares del país. Para abordar estos detalles se puede obtener la ayuda de los expertos en aplicaciones.

Otros temas comunes

Al recopilar los datos de la actividad específicos del país, ya sea para sustentar un método de Nivel 1 o de Nivel 2, los compiladores del inventario deben tomar precauciones al abordar las mezclas refrigerantes. En el Cuadro 7.8 se ilustra la complejidad ya existente y se espera que las mezclas ganen en popularidad en la medida que los fabricantes de equipos busquen nuevas mejoras de rendimiento, en particular en relación con la eficiencia energética. Cuando las mezclas contienen tanto HFC como otros componentes, sólo es necesario considerar los elementos que son declarables. Éste es incluso el caso de otros componentes con PCA significativos (p. ej., los CFC y los HCFC).

Los compiladores del inventario deben considerar también cómo monitorear el movimiento en el comercio de equipos y productos que contienen HFC y/o PFC. En el Recuadro 7.3 se consignan algunas de las medidas necesarias para estimar adecuadamente las importaciones y las exportaciones.

RECUADRO 7.3**CONTABILIZACIÓN DE LA IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE REFRIGERANTES Y EQUIPOS**

Al estimar las *Ventas anuales de nuevos refrigerantes*, la *Carga total de los equipos nuevos* y la *Carga total original de los equipos retirados*, como se requiere para el método de Nivel 2b, los compiladores del inventario deben dar cuenta de las importaciones y exportaciones, tanto de las sustancias químicas como de los equipos. Esto garantiza que se capture el consumo nacional real de sustancias químicas y de equipos. Por ejemplo, si un país importa una parte significativa del HFC-134a que utiliza, la cantidad importada debe contabilizarse como **Ventas anuales**. Por el contrario, si un país carga y luego exporta un número significativo de refrigeradores domésticos, la carga total de los refrigeradores exportados debe restarse de la carga total de los refrigeradores domésticos fabricados en el país, para obtener la **Carga total de los equipos nuevos**.

ENFOQUE GENERAL: En general, la cantidad *Ventas anuales* debe estimarse mediante la fórmula siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Ventas anuales} &= \text{Sustancias químicas fabricadas nacionalmente} \\ &+ \text{Sustancias químicas importadas a granel} \\ &- \text{Sustancias químicas exportadas a granel} \\ &+ \text{Sustancias químicas confinadas en equipos cargados en fábrica} \\ &- \text{Sustancias químicas confinadas en equipos exportados cargados en la fábrica} \end{aligned}$$

Todas las cantidades deben corresponder al año para el cual se están estimando las emisiones. Por igual, la cantidad **Carga total de los equipos nuevos** debe estimarse utilizando la fórmula siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Carga total de los equipos nuevos} &= \text{Sustancia química para cargar los equipos fabricados nacionalmente que} \\ &\quad \text{no son cargados en la fábrica} \\ &+ \text{Sustancia química para cargar equipos fabricados nacionalmente que son} \\ &\quad \text{cargados en la fábrica} \\ &+ \text{Sustancia química para cargar equipos importados que no son cargados en la} \\ \text{fábrica} &+ \text{Sustancia química confinada en equipos importados cargados en fábrica} \\ &- \text{Sustancia química confinada en equipos exportados cargados en fábrica} \end{aligned}$$

La *Carga total original de los equipos retirados* debe estimarse de la misma manera que la *Carga total de los equipos nuevos*, excepto que todas las cantidades deben corresponder al año de fabricación o de importación de los equipos que se retiran.

ENFOQUE SIMPLIFICADO: Al estimar las *Ventas anuales* y la *Carga total de los equipos nuevos*, es posible omitir las cantidades de sustancias químicas importadas o exportadas dentro de los equipos cargados en la fábrica, si estas cantidades se cancelan mutuamente en el cálculo de las emisiones. Sin embargo, los compiladores del inventario que utilicen el cálculo simplificado deben garantizar: (1) que tratan las importaciones y las exportaciones de equipos cargados en la fábrica de manera coherente al estimar tanto las *Ventas anuales* como la *Carga total de los equipos nuevos*; y (2) que al estimar la *Carga total original de los equipos retirados*, siguen dando cuenta de las importaciones y exportaciones de equipos cargados en la fábrica. Puesto que los equipos nuevos llegarán a ser equipos retirados, los países pueden decidir instaurar un seguimiento de las importaciones y exportaciones de equipos cargados en la fábrica, aún cuando esta información no sea estrictamente necesaria para desarrollar las estimaciones del año en curso.

La fórmula simplificada para las **Ventas anuales** es:

$$\begin{aligned} \text{Ventas anuales} &= \text{Sustancias químicas fabricadas nacionalmente} \\ &+ \text{Sustancias químicas importadas a granel} \\ &- \text{Sustancias químicas exportadas a granel} \end{aligned}$$

La fórmula simplificada para la **Carga total de los equipos nuevos** es:

$$\begin{aligned} \text{Carga total de los equipos nuevos} &= \text{Sustancias químicas para cargar los equipos fabricados nacionalmente} \\ &+ \text{Sustancias químicas para cargar los equipos importados no cargados en la fábrica} \end{aligned}$$

La fórmula completa que da cuenta de las importaciones y exportaciones de equipos precargados debe ser usada para calcular la *Carga total original de los equipos retirados*.

7.5.2.4 APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE NIVEL 2 – EL EJEMPLO DEL AIRE ACONDICIONADO MÓVIL (MAC)

El Recuadro 7.4, más abajo, muestra el procedimiento paso a paso necesario para evaluar las emisiones de una sub-aplicación de aire acondicionado móvil del inventario de un país hipotético. El método adoptado corresponde esencialmente a un enfoque de Nivel 2a, aunque hay también elementos que pueden aplicarse por

igual al Nivel 2b. Por lo tanto, este ejemplo pone en evidencia el hecho de que, en la práctica, los enfoques y métodos puros son raros. A menudo se da una mezcla del enfoque por factor de emisión con el enfoque por equilibrio de masas, así como una mezcla de datos de la actividad específicos del país y de datos derivados mundial o regionalmente. Como se ha señalado en la Sección 7.1.2.1, un método, un enfoque o un conjunto de datos puede utilizarse a menudo para cotejar otro. Este ejemplo demuestra también que una implementación detallada del método de Nivel 2a requiere una cantidad significativa de acopio de información sobre la sub-aplicación. Una vez establecido el enfoque, su implementación resulta menos penosa en los años siguientes. Nótese también que las hipótesis realizadas son válidas sólo para el ejemplo; los compiladores deben recopilar la información específica del país en vez de utilizar las hipótesis usadas aquí.

RECUADRO 7.4

EJEMPLO DE APLICACIÓN DE UN CÁLCULO DE NIVEL 2A PARA EL AIRE ACONDICIONADO MÓVIL

Introducción

Los inventarios nacionales y otros estudios actuales muestran que las emisiones de HFC-134a a partir de los acondicionadores de aire móviles (MAC) contribuyen significativamente a las emisiones de la Aplicación Refrigeración y Aire acondicionado (RAC) y a las emisiones de la Categoría Sustitutos de las SAO. En muchos países, las emisiones de los MAC corresponden al 50 por ciento o más de las emisiones de los RAC y probablemente a más del 50 por ciento del total de las emisiones de la Categoría Sustitutos de las SAO. Esto se debe a muchos factores, incluidos:

- El retiro de la circulación de las SAO y la sustitución por los HFC en los MAC se produjo antes y más rápidamente que en otras sub-aplicaciones, como el aire acondicionado residencial (estacionario) y la refrigeración comercial (supermercados), que todavía hacen un uso considerable de las SAO.
- Los MAC están sujetos a efectos extremos en términos de impactos y vibraciones y, por lo tanto, las emisiones tienden a ser grandes.
- La vida útil de los MAC tiende a ser más corta que la de muchas otras sub-aplicaciones de los RAC, de modo que las emisiones de fin de vida útil se producen más temprano y las existencias de equipos que utilizan las SAO son reemplazados antes por los HFC.
- Debido a la pequeña carga de refrigerante implicada, la recuperación desde los MAC es considerada a menudo antieconómica y, por ende, no se practica durante el mantenimiento ni la eliminación.

Además, los datos sobre las compras de vehículos y los empadronamientos en un país son conocidos a menudo con un nivel superior de calidad o se obtienen fácilmente. En consecuencia, es una *buena práctica* estimar las emisiones provenientes de esta sub-aplicación. El texto siguiente describe cómo pueden aplicarse las ecuaciones generales para la aplicación de los RAC a la sub-aplicación de los MAC.

Recopilación de datos e hipótesis

Una estimación exacta de las emisiones de los MAC puede obtenerse recopilando algunos datos al nivel de la sub-aplicación y aplicando unas pocas hipótesis básicas para simplificar los datos y los cálculos requeridos, de la manera siguiente:

Tipo de refrigerante. Es importante separar cada dato elemental por refrigerante, de modo que las emisiones de cada refrigerante se calculen por separado. Para los MAC, puede simplificarse por el hecho de que todos los MAC producidos desde mediados hasta fines de los años 1990 utilizan el HFC-134a como refrigerante. Sin embargo, se utilizó el CFC-12 en el pasado y todavía existe en algunos sistemas en operación. Más aún, otros refrigerantes, como el HFC-152a y el R-744 (dióxido de carbono), están siendo considerados para el futuro.

Refrigerante vendido en contenedores (RM_f). Para los MAC, el refrigerante suele venir en tres tipos de contenedores: los «contenedores a granel» enviados a los fabricantes de vehículos para llenar los MAC nuevos; las «latas pequeñas», que contienen alrededor de 300-500 gramos de refrigerante, utilizadas generalmente por las personas que le dan mantenimiento a sus propios equipos; y los «cilindros» que contienen alrededor de 10 a 15 kilogramos de refrigerante, utilizados por las tiendas y estaciones de servicio que dan mantenimiento a muchos vehículos. Si se supone que no hay pérdidas de los contenedores a granel (véase más abajo), para calcular la cantidad $E_{\text{contenedores}}$, se necesita conocer la cantidad total de refrigerante vendido en latas pequeñas (RM_{sc}) y en cilindros (RM_{cy}). Será importante distinguir el refrigerante vendido que va a las diferentes sub-aplicaciones (p. ej., el HFC-134a se usa también en las sub-aplicaciones de los congeladores y de los refrigeradores domésticos) de modo que en los cálculos se utilice sólo la cantidad de refrigerante vendido para los MAC. Estos datos pueden obtenerse de los envasadores de latas pequeñas y de los productores y/o distribuidores de refrigerantes.

Restos en los contenedores (c). Para este ejemplo se supone que los restos que permanecen en los contenedores no se recuperan (p. ej., los cilindros son eliminados y no reutilizados) y corresponden a $c_{sc} = 20\%$ para las latas pequeñas y a $c_{cy} = 2\%$ para los cilindros. Debido a que los contenedores de refrigerante a granel suelen devolverse al productor de refrigerantes y se llenan de nuevo, se puede suponer que no hay residuos que puedan ser emitidos y por lo tanto $c_{bulk} = 0\%$.

MAC producidos cada año (N_t). Si no se conoce la cantidad de MAC puestos en servicio cada año, se puede hacer una estimación multiplicando el número de vehículos puestos en servicio cada año por una estimación del porcentaje de vehículos vendidos con MAC incorporados. Estos datos pueden obtenerse de los fabricantes de automóviles, de los productores y/o proveedores de MAC o de los organismos gubernamentales dedicados a la seguridad, del transporte, infraestructuras y autorrutas. Si se usa más de un refrigerante, es importante separar cada N_t en los diferentes refrigerantes, p. ej., $N_{1994} = N_{1994,CFC-12} + N_{1994,HFC-134a}$.

Carga nominal de cada MAC (m_t). Es probable que este factor varíe por tipo de vehículo; por ejemplo los pequeños vehículos de pasajeros tenderán a tener cargas más pequeñas de refrigerante que los buses o los vehículos más grandes, particularmente aquellos con evaporadores múltiples. Del mismo modo, puede variar con el tiempo, por ejemplo, disminuir a medida que los fabricantes producen sistemas más pequeños para un mismo tamaño de vehículo, o bien, aumentar a medida que los vehículos más grandes y más evaporadores múltiples entran al mercado. Para este ejemplo, se supone una carga nominal constante a través del tiempo con un promedio de 0,7 kg., lo cual es típico de los vehículos de pasajeros pequeños y medianos.

Refrigerante cargado en equipos nuevos (M_t). Este valor se calcula fácilmente como $M_t = N_t \cdot m_t = 0,7 \cdot N_t$.

Pérdidas durante el ensamble (k). Se usa para calcular las Emisiones de carga, denominadas también «Emisiones del primer llenado». El índice de pérdidas suele ser pequeño, del orden de $k = 0.5\%$ o inferior. Para simplificar, en este ejemplo se supone que $k = 0$.

Vida útil (d). Vida útil supuesta de un MAC. Esta variable puede estar basada en datos nacionales y puede ser diferente para los distintos tipos de MAC (vehículos de pasajeros, buses, etc.). Para este ejemplo, se supone una vida útil para todos los MAC de $d = 12$ años.

Banco en los equipos existentes (B). El banco corresponde a la cantidad de refrigerante de los MAC puestos en servicio, menos la cantidad de refrigerante en los MAC eliminados, más la cantidad de refrigerante utilizada para dar mantenimiento a los MAC, menos la cantidad perdida por fugas. En la actualidad, un MAC dado presentará fugas durante varios años antes de ser sometido a mantenimiento. En vez de intentar dar cuenta de estas fugas, para este ejemplo se aplica la Ecuación 7.13, que supone que todos los MAC reciben mantenimiento cada año, de modo que la carga estimada de cada MAC sea igual a la carga nominal. El índice de emisión anual se promedia para dar cuenta de esta hipótesis. Esto producirá sólo errores menores, a menos que las ventas de MAC de un año para otro fluctúen ampliamente. Por ende, el banco de cualquier año dado corresponde a la suma del Refrigerante cargado en equipos nuevos cada año, desde el año en curso hacia atrás, hasta el año que se corresponde con la duración de la vida útil del equipo. Por lo tanto,

$$B_t = \sum_{i=1}^d M_{t-i+1}$$

Por ejemplo, empleando $d = 12$ años, en 2006 el banco será $B_{2006} = M_{2006} + M_{2005} + M_{2004} + \dots + M_{1997} + M_{1996} + M_{1995}$.

Índice de emisión anual (x). Este factor da cuenta, a la vez de las fugas desde los equipos, así como de cualquier emisión producida durante la acción de mantenimiento. Ambos elementos pueden diferir para los diferentes tipos de MAC y pueden variar también según cuándo haya sido producido el MAC (es decir, los MAC más antiguos generan más fugas que los MAC más recientes). Si no se efectúa un mantenimiento anual, para obtener el índice anual hay que promediar la cantidad emitida en cada ocasión de mantenimiento respecto del número de años transcurridos entre las acciones de mantenimiento. Es probable que esta cantidad varíe considerablemente según las condiciones nacionales y los tipos de servicio de mantenimiento se lleven a cabo. Hay que considerar el caso en que la carga se recupera antes de la acción de mantenimiento, y ésta puede deducirse parcialmente a través del examen del refrigerante vendido en latas pequeñas en relación con el refrigerante vendido en cilindros. Para este ejemplo, se supone que cada año se fuga el 15% de la carga nominal y que, en promedio, el 11% se emite durante la acción de mantenimiento. En consecuencia, $x = 26\%$.

Carga residual en los MAC eliminados (p). Si se supone que el MAC recibe mantenimiento el año anterior a su eliminación y que se ha estimado la índice anual de emisión, se calcula fácilmente como $p = 1 - x$. En nuestro ejemplo, $p = 1 - 26\% = 0,74$.

Eficiencia de recuperación ($nrec$). Si no existen reglamentos o incentivos para requerir la recuperación del refrigerante de los MAC eliminados, es muy probable que ésta no se produzca. Entonces, para este ejemplo, se supone que $nrec = 0$.

Cálculo de los diferentes tipos de emisiones

Una vez que se han acopiado estos datos y que se han establecido las hipótesis mencionadas, se puede proceder al cálculo de las emisiones. A continuación, un ejemplo para el año $t = 2006$:

Emisiones del contenedor (Ecuación 7.11).

$$E_{\text{contenedores},2006} = RM_{cy,2006} \cdot c_{cy} + RM_{sc,2006} \cdot c_{sc} = 0,02 \cdot RM_{cy,2006} + 0,2 \cdot RM_{sc,2006}$$

Emisiones durante la carga (Ecuación 7.11).

$$E_{\text{carga},2006} = M_{2006} \cdot k = 0$$

Emisiones durante la vida útil (operación y mantenimiento) (Ecuación 7.13).

$$\begin{aligned} E_{\text{operación},2006} &= B_{2006} \cdot x = 0,26 \cdot B_{2006} = 0,26 \cdot \sum_{i=1}^d M_{t-i+1} \\ &= 0,26 \cdot (M_{2006} + M_{2005} + M_{2004} + \dots + M_{1997} + M_{1996} + M_{1995}) \\ &= 0,26 \cdot m \cdot (N_{2006} + N_{2005} + N_{2004} + \dots + N_{1997} + N_{1996} + N_{1995}) \\ &= 0,26 \cdot 0,7 \cdot (N_{2006} + N_{2005} + N_{2004} + \dots + N_{1997} + N_{1996} + N_{1995}) \\ &= 0,182 \cdot (N_{2006} + N_{2005} + N_{2004} + \dots + N_{1997} + N_{1996} + N_{1995}) \end{aligned}$$

Emisiones del fin de la vida útil (Ecuación 7.14).

$$\begin{aligned} E_{\text{end-of-life},2006} &= M_{2006-d} \cdot p \cdot (1 - n_{rec}) = M_{2006-12} \cdot 0,74 \cdot (1 - 0) \\ &= 0,74 \cdot M_{1994} = 0,74 \cdot 0,7 \cdot N_{1994} = 0,518 \cdot N_{1994} \end{aligned}$$

Cálculo del total de las emisiones

Total de emisiones de los MAC (Ecuación 7.8).

$$\begin{aligned} E_{\text{total},2006} &= E_{\text{contenedores},2006} + E_{\text{carga},2006} + E_{\text{vida útil},2006} + E_{\text{mantenimiento},2006} + E_{\text{fin de vida útil},2006} \\ &= 0,02 \cdot RM_{cy,2006} + 0,2 \cdot RM_{sc,2006} + 0 \\ &\quad + 0,182 \cdot (N_{2006} + N_{2005} + N_{2004} + \dots + N_{1997} + N_{1996} + N_{1995}) + 0,518 \cdot N_{1994} \\ &= 0,02 \cdot RM_{cy,2006} + 0,2 \cdot RM_{sc,2006} \\ &\quad + 0,182 \cdot (N_{2006} + N_{2005} + N_{2004} + \dots + N_{1997} + N_{1996} + N_{1995}) + 0,518 \cdot N_{1994} \end{aligned}$$

Las únicas incógnitas son las siguientes:

- RM_{sc} – refrigerante (en kilogramos) vendido en latas pequeñas para el mantenimiento de los MAC, la cual se puede obtener de los envasadores de latas pequeñas;
- RM_{cy} – refrigerante (en kilogramos) vendido en cilindros para el mantenimiento de los MAC, la cual se puede obtener de los productores y/o distribuidores de refrigerantes; y
- N_t – el número de MAC puestos en servicio cada año, la cual puede obtenerse de los fabricantes de automóviles, de los productores y/o proveedores de MAC o de los organismos gubernamentales dedicados a la seguridad del transporte, de las infraestructuras y de las autorrutas.

Si no se incluyen las emisiones provenientes de los contenedores de refrigerante ni las emisiones del fin de la vida útil, pues se piensa, por ejemplo, que los cilindros para el mantenimiento se vacíen completamente y que un mínimo de los MAC llega al fin de la vida útil en el año en cuestión, esta ecuación se convierte simplemente en una actividad (la cantidad de MAC) multiplicada por un factor de emisión (el índice de emisión anual multiplicada por el tamaño de la carga promedio, en este caso, de 0,182 kg. por MAC). Este cálculo proporciona el total de las emisiones en kilogramos de refrigerante. Si cada refrigerante se trata por separado y se multiplica cada suma por el PCA del refrigerante respectivo, se obtiene el equivalente CO_2 de las emisiones en kilogramos. Dividiendo luego por 1 millardo (10^9), se obtienen las emisiones en teragramos de equivalente CO_2 ($TgCO_2eq$).

7.5.2.5 EXHAUSTIVIDAD

Si se dispone de los datos sobre los nuevos refrigerantes y sobre los refrigerantes de los equipos que se retiran en el año en curso, se puede lograr la exhaustividad para el método de Nivel 1a/b. Para los métodos de Nivel 2a y 2b, la exhaustividad depende de la contabilización minuciosa de los bancos existentes en los equipos, y esto puede implicar el seguimiento de gran cantidad de datos.

7.5.2.6 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones originadas por la refrigeración y el aire acondicionado deben calcularse utilizando el mismo método y las mismas fuentes de datos para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para los métodos más rigurosos para todos los años de la serie temporal, estos vacíos deben recalcularse según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

7.5.3 Evaluación de incertidumbre

En el Cuadro 7.8, Estimaciones para la carga, la vida útil y los factores de emisión para los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, se presentan los intervalos de los factores de emisión que destacan las incertidumbres asociadas con este sector. En general, los métodos desagregados (Nivel 2) poseen menos incertidumbre que los métodos de Nivel 1, debido a la naturaleza heterogénea de las sub-aplicaciones. Los métodos de Nivel 2 que se apoyan en factores de emisión (Nivel 2a) poseen más incertidumbre que los métodos por equilibrio de masas que utilizan datos sobre las ventas de sustancias químicas (Nivel 2b). Esto sucede en gran medida debido al reducido tamaño unitario de la mayoría de los equipos y al potencial multiplicativo de un pequeño error unitario. Los compiladores del inventario deben solicitar consejos a la industria acerca de las incertidumbres, empleando para ello los métodos delineados en el Volumen 1, Capítulo 3 para obtener dictámenes de expertos.

7.5.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

7.5.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

Para efectuar un control de calidad correspondiente al método de Nivel 2, es posible, aunque no necesario para los requerimientos de *buena práctica*, comparar el mercado nacional anual de los refrigerantes de HFC según lo declarado por los fabricantes químicos o los distribuidores de refrigerantes, con las necesidades anuales en refrigerantes de HFC, según lo derivado mediante el método de Nivel 2. Se necesitan los refrigerantes tanto para cargar los equipos nuevos como para dar mantenimiento a los equipos existentes. Lo que se necesita (es decir, lo que se compra) para cargar los equipos, incluye el refrigerante que está cargado de hecho en el equipo más toda emisión asociada (ya sea durante el proceso de carga o desde los contenedores utilizados para cargar, pero que no se vacían completamente antes de ser desechados). Lo que se necesita para el mantenimiento es el refrigerante que reemplaza las pérdidas producidas desde los equipos existentes debido a las fugas y a las pérdidas por manipulación, así como el refrigerante de los contenedores que no se vacían por completo antes de ser desechados. La fórmula siguiente permite realizar esta verificación.

ECUACIÓN 7.15
VERIFICACIÓN DE LAS EVALUACIONES DEL ABASTECIMIENTO Y LA DEMANDA

$$RN_t = \sum_{j=1}^6 (S_{prod_t,j} \cdot m_{t,j}) + \sum_{j=1}^6 (M_{t,j} \cdot k_j) + \sum_{j=1}^6 (B_{t,j} \cdot x_j) + RM_t \cdot c$$

Donde:

RN_t = necesidades de refrigerante HFC en el año t , kg.

j = índice de conteo de 1 a 6 (o la cantidad de sub-aplicaciones escogida para el método de Nivel 2)

$S_{prod_t,j}$ = producción nacional de equipos que usan refrigerantes de HFC en el dominio de la sub-aplicación j en el año t , número de equipos

$m_{t,j}$ = carga inicial promedio de HFC en el tipo de equipos de la sub-aplicación j , kg.

$M_{t,j}$ = cantidad de HFC cargada durante la fabricación de los equipos de la sub-aplicación j en el año t , kg.

k_j = factor de emisión de las pérdidas del HFC cargado durante el ensamblado en los equipos nuevos de la sub-aplicación j , fracción

$B_{t,j}$ = cantidad de HFC confinado en bancos de sistemas existentes de la sub-aplicación j en el año t (por sub-aplicación), kg.

x_j = índice de emisión anual (es decir, el factor de emisión) de HFC del banco de sub-aplicación j durante el tiempo de operación que da cuenta del promedio de las fugas anuales y del promedio de las emisiones durante el mantenimiento, fracción

RM_t = mercado de los HFC para los equipos nuevos y el mantenimiento de todas las sub-aplicaciones de refrigeración en el año t , kg.

c = factor de emisión de la gestión de los contenedores de HFC del mercado de refrigerantes, fracción

El primer término corresponde a la carga de refrigerante de los nuevos sistemas de refrigeración y aire acondicionado producidos en el país en el año en curso t , incluidas las exportaciones.

El segundo término corresponde al refrigerante emitido durante la carga inicial de los nuevos sistemas de refrigeración y aire acondicionado producidos en el país en el año en curso t , incluidas las exportaciones.

El tercer término corresponde a la carga de refrigerante utilizada para dar mantenimiento, bajo la hipótesis de que el refrigerante emitido por fugas y durante la acción de mantenimiento se restituye cada año.

El último término representa al refrigerante emitido desde los contenedores a través de todo el mercado de la refrigeración y del aire acondicionado en el año dado t .

El refrigerante que se recupera y se recarga directamente en los equipos del mismo propietario, no se considera una necesidad; sin embargo, el que se recupera y envía para su reutilización, se contabiliza en el mercado declarado.

El mercado anual de refrigerante tal como es declarado por los fabricantes químicos o los distribuidores de refrigerantes RD, se calcula mediante la Ecuación 7.16

ECUACIÓN 7.16
CÁLCULO DEL MERCADO ANUAL DE REFRIGERANTES

$$RD_t = R_{prod_t} - R_{exp_t} + R_{imp_t} + R_{recl_t} - R_{dest_t}$$

Donde:

R_{prod_t} = cantidades de la producción de refrigerantes de HFC en el país, kg.

R_{exp_t} = cantidades de refrigerantes de HFC producidos en el país y exportados, kg.

R_{imp_t} = cantidades de refrigerantes de HFC importados, kg.

R_{recl_t} = cantidades de refrigerantes de HFC recuperados y reprocesados para la venta como refrigerantes de HFC reutilizados, menos las cantidades a reutilizar que aún no han sido vendidas, kg.

R_{dest_t} = cantidades de refrigerantes de HFC destruidos, kg.

Todas las cantidades se calculan para el año en curso t .

La comparación entre RN_t , que corresponde a las necesidades de refrigerantes de HFC según lo derivado del método del inventario, y RD_t , que corresponde al mercado de refrigerantes según lo declarado por los fabricantes y distribuidores de refrigerantes, proporciona un control de calidad claro del método del inventario y también de las emisiones globales. RN_t y RD_t se calculan para cada tipo de HFC.

Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Es difícil proporcionar procedimientos adecuados de GC/CC para el método de Nivel 1 a/b sin llevar a cabo un análisis de Nivel 2 para verificar la selección del factor de emisión compuesto. Dado que esto es contrario al objetivo del enfoque de Nivel 1, la estrategia más apropiada es buscar una evaluación externa de la derivación del factor de emisión compuesto, cuando éste sea específico del país. Otra alternativa es la de comparar los resultados de Nivel 1 con las predicciones de las bases de datos regionales o mundiales.

7.5.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Una información de soporte necesaria para garantizar la transparencia en las estimaciones de emisiones declaradas, se muestra en el siguiente Cuadro 7.10, Documentación de buena práctica para los sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

CUADRO 7.10			
DOCUMENTACIÓN DE BUENA PRÁCTICA PARA LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO			
Fuente de los datos	Datos a declarar	Nivel 1a/b	Nivel 2a y 2b
Reglamentación para el retiro de circulación de los CFC y los HCFC	Calendario de la fase final de las cargas en equipos nuevos y del uso en el mantenimiento	X	X
Estadísticas gubernamentales o de las Compañías de eliminación	Cantidad de equipos eliminados para cada tipo de aplicación	X	X
Fabricantes y distribuidores de refrigerantes	Todos los refrigerantes vírgenes vendidos para cargar nuevos equipos y para dar mantenimiento en los diferentes sectores	X	X
Asociaciones de fabricantes o Estudios de mercado	Equipos producidos a un nivel nacional que utilizan los HFC como refrigerantes (para las seis sub-aplicaciones)	X	X
Compañías de importación/exportación, Estadísticas gubernamentales, Asociaciones de fabricantes o Estudios de mercado	Cantidad de equipos que usan los HFC (importados y exportados)	X	X
Gobierno o Distribuidores de refrigerantes	Refrigerantes de HFC recuperados para reprocesamiento o para la destrucción	X	X
Asociaciones de fabricantes	Vida útil promedio de los equipos	NA	X
Asociaciones de fabricantes	Carga inicial de los sistemas	X	X

7.6 PRODUCTOS CONTRA INCENDIOS

7.6.1 Sustancias químicas cubiertas en esta área de aplicación

Hay dos tipos generales de equipos contra incendios (extinción) que usan los HFC y los PFC para reemplazar parcialmente los halones: los equipos portátiles (de chorro corriente) y los equipos fijos (de anegación). Los HFC y PFC y, más recientemente, una fluorocetona se utilizan principalmente como sustitutos de los halones en los equipos de anegación, en particular del halón 1301. Los PFC desempeñaron un papel en la etapa temprana del reemplazo del halón 1301, mas su uso actual se limita al rellenado de los sistemas instalados con anterioridad. Los HFC de los equipos portátiles (de chorro corriente) que generalmente reemplazan al halón 1211, están disponibles, pero su aceptación es muy limitada en el mercado, debido principalmente a su costo elevado. El uso de PFC en los extintores portátiles nuevos está limitado actualmente a una pequeña proporción (un porcentaje mínimo) de una mezcla de HCFC.

Aunque se espera que las emisiones reales provenientes del sub-sector de la protección contra incendios sean bastante pequeñas, su uso en el suministro a la prevención contra incendios es normalmente no emisor y está creciendo. Esto genera un banco acumulativo de emisiones potenciales futuras.

Los HFC y PFC que pueden estar todavía involucrados en la protección contra incendios se muestran en el Cuadro 7.1.

7.6.2 Cuestiones metodológicas

7.6.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Al igual que para la aplicación de la refrigeración y el aire acondicionado, la aplicación de la protección contra incendios ofrece la posibilidad de usar tanto el Enfoque A (enfoque por factor de emisión) como el Enfoque B (enfoque por equilibrio de masas). Este último se justifica por el hecho de que probablemente una proporción importante del consumo neto se destine al mantenimiento de los equipos en vez de a los equipos nuevos. Sin embargo, la aplicación de la protección contra incendios difiere de la aplicación de la refrigeración y el aire acondicionado en el hecho de que las sub-aplicaciones son menos numerosas y más homogéneas. Esto significa que un método de Nivel 1a o de Nivel 1b puede ser suficiente para proporcionar declaraciones apropiadas de las emisiones, aunque, para ser estrictamente correctos, la inclusión de consideraciones de fin de la vida útil justificaría normalmente el uso de un enfoque de Nivel 2.

Sin embargo, al igual que para las espumas y la refrigeración/el aire acondicionado, en la aplicación de la protección contra incendios es necesario tratar la cuestión del desarrollo y seguimiento de bancos. Esto significa que se requiere de una serie temporal histórica de datos de la actividad específicos del país o derivados mundial o regionalmente, hasta la fecha pasada de introducción de nuevos HFC o PFC.

Dado que los HFC y los PFC en la protección contra incendios se emiten durante un periodo superior a un año, los países deben determinar las emisiones producidas desde los equipos cargados durante los años anteriores. La elección de un factor de emisión anual basado en la producción que refleje un proceso de emisión plurianual puede conducir a errores considerables y no se considera una *buena práctica*.

La Ecuación 7.17 indica cómo debe modificarse el enfoque para tomar en consideración la dependencia temporal de las emisiones y considerar qué datos de la actividad pueden estar disponibles con mayor probabilidad.

ECUACIÓN 7.17

DEPENDENCIA TEMPORAL DE LAS EMISIONES PROVENIENTES DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

$$Emisiones_t = Banco_t \cdot EF + RRL_t$$

y

$$Banco_t = \sum_{i=t_0}^t (Producción_i + Importaciones_i - Exportaciones_i - Destrucción_i - Emisiones_{i-1}) - RRL_t$$

Donde:

Emisiones_t = emisiones de agente en los equipos de protección contra incendios en el año *t*, toneladas

Banco_t = banco de agente en los equipos de protección contra incendios en el año *t*, toneladas

EF = fracción del agente en los equipos emitido cada año (excluidas las emisiones provenientes de equipos retirados o puestos fuera de servicio), adimensional

RRL_t = liberación o pérdida durante la recuperación (RRL, del inglés, *Recovery Release or Loss*): emisiones de agente durante la recuperación, el reciclado o la eliminación, en el momento del retiro de los equipos de protección contra incendios existentes en el año *t*, toneladas

Producción_t = cantidad de agente nuevo suministrado (es decir, excluido el agente reciclado) en los equipos de protección contra incendios producidos en el año *t*, toneladas

Importaciones_t = cantidad de agente en equipos de protección contra incendios importados en el año *t*, toneladas

Exportaciones_t = cantidad de agente en equipos de protección contra incendios exportados en el año *t*, toneladas

Destrucción_t = cantidad de agente de los equipos de protección contra incendios que se recolecta y destruye, toneladas

t = año para el cual se están estimando las emisiones (p. ej., 2006, 2007, etc.)

*t*₀ = primer año de producción de la sustancia química y/o de su uso

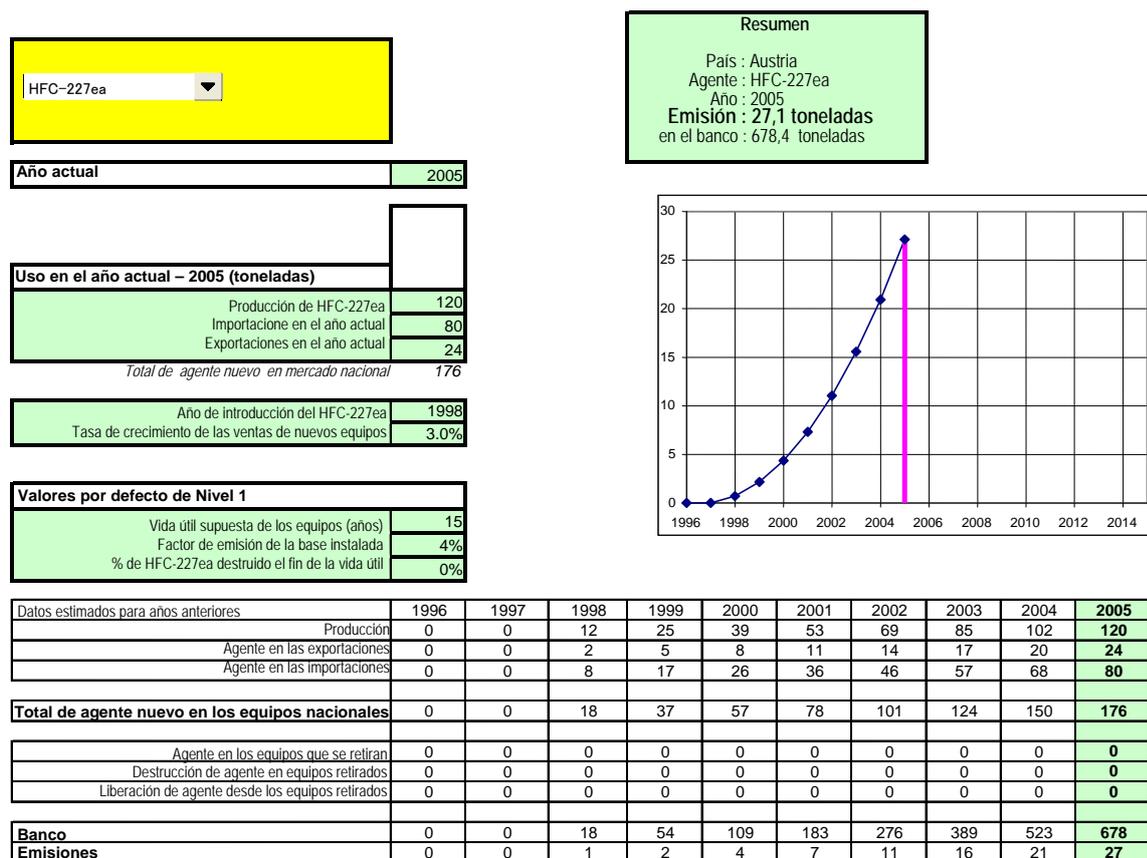
i = índice de conteo desde el primer año de producción de la sustancia química y/o de su uso, hasta el año en curso t

Es una *buena práctica* aplicar la Ecuación 7.17 a cada gas de efecto invernadero utilizado en los equipos de protección contra incendios. El cálculo de las emisiones debe realizarse para cada año y aplicarse a los cálculos para el año siguiente.

Con estos antecedentes en mente, el uso del árbol de decisión para la aplicación de protección contra incendios, tal como se presenta en la Figura 7.9, resulta muy simple.

Al igual que para los métodos de Nivel 1 adoptados tanto para las espumas como para la refrigeración y el aire acondicionado, es posible crear una hoja de cálculos simple que dé cuenta del desarrollo de los bancos y de las subsiguientes emisiones desde ellos. El siguiente extracto de hoja de cálculo proporciona un ejemplo:

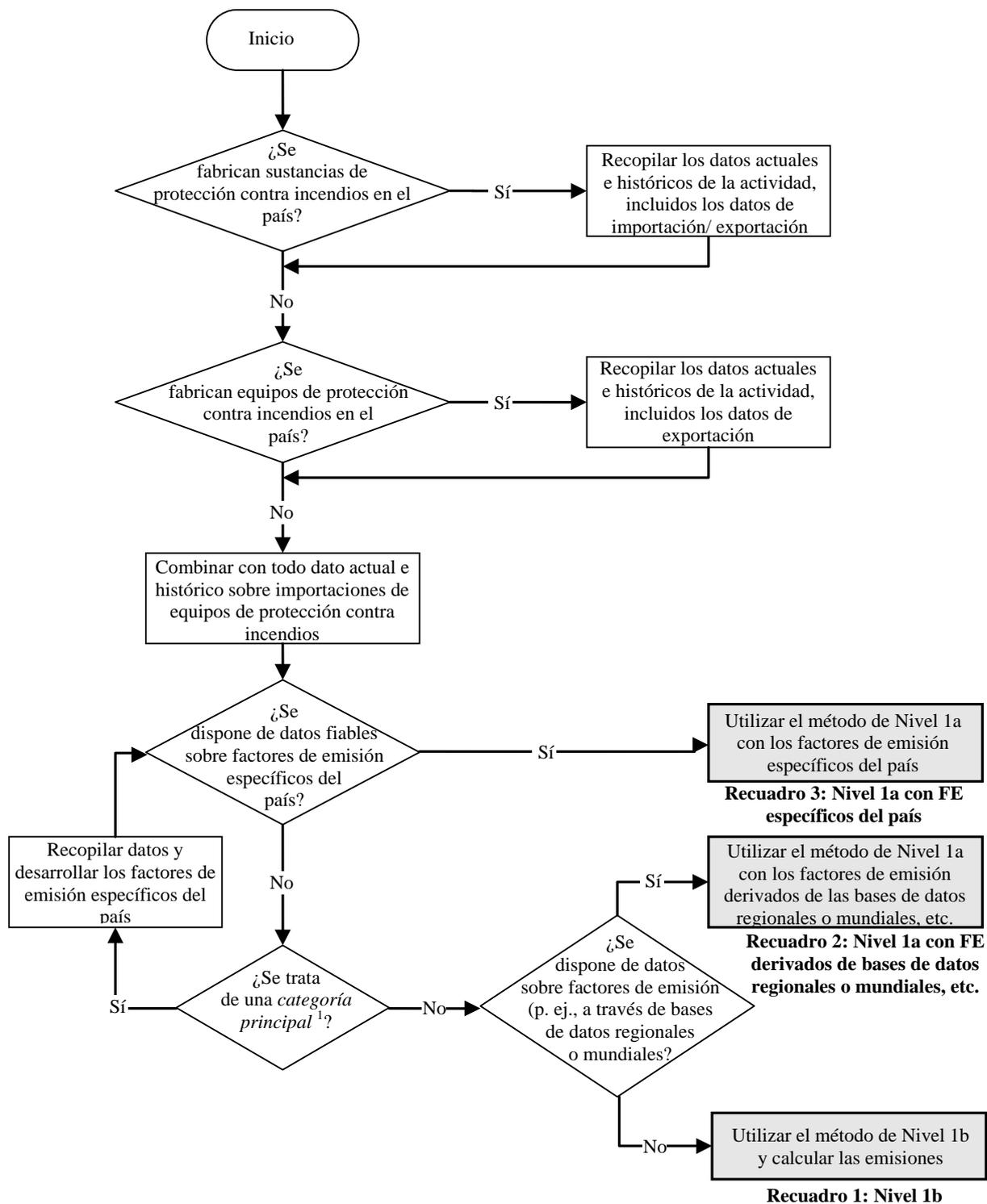
Figura 7.8 Ejemplo de hoja de cálculo para el método de Nivel 1



El objetivo es que esta hoja de cálculo facilite los cálculos para la aplicación de protección contra incendios, apoyándose, cuando sea necesario, en los datos de la actividad tomados de un conjunto de datos apropiado derivados mundial o regionalmente²³.

²³ Como se indica en el Recuadro 7.1, la inclusión en la base de datos sobre factores de emisión del IPCC (EFDB) indica la adhesión general al proceso adecuado, pero es una *buena práctica* que los países garanticen que todos los datos tomados de la EFDB sean los apropiados para sus propias circunstancias nacionales.

Figura 7.9 **Árbol de decisión para las emisiones reales provenientes de la aplicación de la protección contra incendios**



Nota :

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

7.6.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

La experiencia obtenida durante el proceso de retiro de circulación de las sustancias de halones ha dejado valiosas enseñanzas en relación con el uso y los patrones de emisión y es razonable esperar que estas enseñanzas sean pertinentes para los gases de efecto invernadero que se utilizan con propósitos similares. Los equipos de protección contra incendios están diseñados para liberar su carga inicial durante un incendio real. Un estudio

reciente muestra que las emisiones anuales provenientes de los sistemas instalados de anegación se sitúan en el intervalo del 2 ± 1 por ciento de la base instalada (Verdonik y Robin, 2004). Para los extintores portátiles de halón 1211, el comité *Halons Technical Options Committee* (2003) estimó que el índice de emisión para el año 2000 es aproximadamente el doble que para los sistemas fijos. Al aplicar ese factor, se obtiene un intervalo del 2 al 6 por ciento (esto es, $4\% \pm 2\%$) de las cantidades en uso.

Dada la naturaleza de esta aplicación, se da la oportunidad de recuperar el gas al término de la vida útil de los equipos (o cuando se retiran del servicio). El gas recuperado puede destruirse o reciclarse. Por lo tanto, la hipótesis por defecto de una recuperación nula al fin de la vida útil puede sobreestimar las emisiones de fin de vida útil. El compilador del inventario debe establecer contactos con las industrias pertinentes para recopilar información sobre la recuperación que pueda efectuarse debido a la legislación, a los códigos de prácticas industriales u otras medidas. Es una *buena práctica* documentar esta información y declarar todas las hipótesis.

En aquellos países que no poseen un código nacional de prácticas industriales, es una *buena práctica* suponer que el agente no será recuperado al fin de la vida útil del sistema y que el gas será emitido. Las duraciones de la vida útil típicas de los sistemas de anegación, son de 15 a 20 años. En las aplicaciones especializadas, como los sistemas aeronáuticos y militares, los sistemas pueden permanecer en uso durante 25 a 35 años, o más (UNEP-HTOC, 1994).

7.6.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

En los países que producen el agente de protección contra incendios, es una *buena práctica* atribuir toda la producción de ese agente a ese país, a menos que se sepa que ha sido, ya sea 1) exportado a granel, o 2) destruido. En los países que no producen el agente, pero sí producen y llenan los sistemas de protección contra incendios, se considera que todo el agente a granel importado en el país permanece en el país, a menos que se sepa que ha sido 1) re-exportado a granel, o 2) destruido. Los países que no producen ni el agente ni los sistemas, utilizan los datos de la actividad desarrollados por los países productores para desarrollar su propio inventario, o bien, ante la evidencia de la exportación en el país, estiman que las emisiones de la protección contra incendios son inferiores a un nivel significativo respecto de las emisiones totales de gases de efecto invernadero, es decir, prácticamente nulas. Esta metodología por defecto sitúa la mayor responsabilidad en los países que producen el agente o que lo usan para la fabricación de los sistemas. Para que los países productores puedan usar esta metodología, es preciso que los datos de la actividad se desarrollen en torno a la producción, a las importaciones y exportaciones a granel, y a la destrucción.

En resumen, los datos de la actividad provienen de los países que son productores de sistemas o agentes de protección contra incendios, excepto en el caso de la destrucción. Para que el país productor pueda disminuir la cantidad de producción de agente atribuida a ese país, debe demostrar el monto de las exportaciones a granel. Esas exportaciones a granel reducirán la base instalada de los países productores y sirven también como datos de la actividad para los países importadores cuando determinen su base instalada.

7.6.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Los compiladores del inventario deben garantizar que todos los gases de efecto invernadero utilizados en la industria de la protección contra incendios estén incluidos en las estimaciones. También es necesario aplicar la Ecuación 7.17, a partir del primer año en que los agentes de protección contra incendios en tanto que gases de efecto invernadero fueron utilizados en el país.

7.6.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

En algunos países, los datos históricos de la actividad para los gases de efecto invernadero cargados en los equipos nuevos, o utilizados para el mantenimiento de los equipos existentes, pueden ser difíciles de determinar debido a la reciente introducción de estas sustancias. Si los compiladores del inventario emplean factores de emisión preliminares para estos años, basándose en los datos históricos para los halones, y luego cambian de factores, deben seguir las *buenas prácticas*, tal como se describen en el Volumen 1, Capítulo 5, para garantizar la coherencia de la serie temporal.

7.6.3 Evaluación de incertidumbre

Al nivel mundial, se puede esperar un alto grado de certidumbre, pues las evaluaciones estarán basadas en la producción y esto es suficiente para un balance material completo. En cualquier momento, la producción agregada mundial será siempre igual a las emisiones agregadas mundiales más el total agregado confinado en los

equipos. En los datos específicos de los países hay una incertidumbre mayor. Un pequeño error es intrínseco al método pues éste no incluye la importación ni la exportación de los sistemas llenados. Sin embargo, según la experiencia obtenida con los halones y con sus sustitutos de gases de efecto invernadero, es muy poco probable poder obtener datos exactos sobre las importaciones y/o exportaciones con un nivel de esfuerzo razonable.

Verdonik (2004) comparó los informes sobre consumo de halones con los informes de los fabricantes al CEFIC²⁴, sobre la producción mundial de halón, la producción declarada por los países en desarrollo y la producción declarada por el CEIT²⁵. Los resultados indican una desviación estándar del 16 por ciento para los países desarrollados, del 15 por ciento para los países en desarrollo y del 13 por ciento al nivel mundial. Se anticipa que la incertidumbre en las estimaciones de las emisiones de HFC/PFC sería comparable o superior a las incertidumbres observadas en las estimaciones sobre el consumo de halones.

7.6.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

7.6.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. Puede implicar una referencia directa a las bases de datos mundiales o regionales para las evaluaciones paralelas que permiten las comparaciones de referencia. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, Capítulo 6, y procedimientos de garantía de calidad, si al determinar las emisiones de esta aplicación se utilizan métodos de nivel superior. Sin embargo, si éste no fuera el caso, se pueden adoptar los enfoques básicos de GC/CC delineados en el Volumen 1, Capítulo 6.

Además de la orientación del Volumen 1, los procedimientos específicos pertinentes para esta aplicación, se bosquejan en las referencias incluidas al final del capítulo.

7.6.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

El acceso a datos tales como las ventas de sustancias químicas puede depender de la capacidad de los inventarios de preservar la confidencialidad. El equilibrio entre la preservación de la confidencialidad y la transparencia de los datos es un tema importante, en especial en una aplicación de bajo uso como la protección contra incendios. Estos sustitutos de las SAO son fabricados por pocos productores y en cantidades mucho menores que las de los sustitutos de las SAO utilizados en otras aplicaciones. Una agregación cuidadosa de datos ponderados según el PCA puede ser un medio para resolver este problema.

7.7 OTRAS APLICACIONES

7.7.1 Sustancias químicas cubiertas en esta área de aplicación

Los HFC y los PFC representan un amplio abanico de gases cuyas propiedades los hacen muy atractivos para una variedad de aplicaciones nicho que no están cubiertas por separado en este Capítulo. Éstas incluyen los ensayos electrónicos, la transferencia térmica, los fluidos dieléctricos, las aplicaciones médicas y, potencialmente, muchas otras aplicaciones nuevas que no se han desarrollado todavía. En estas aplicaciones hay algunos usos históricos de los PFC, así como el uso emergente de los HFC. Estas aplicaciones tienen índices de fugas que van desde la emisión del 100 por ciento en el año de la aplicación hasta alrededor del 1 por ciento anual. Sin embargo, este capítulo se concentra específicamente en aquellos usos de los HFC y los PFC que reemplazan directamente las sustancias que agotan la capa de ozono, y éstos tienen un alcance más limitado.

Es necesario asegurarse de que no se produzcan cómputos dobles con la categoría electrónica cubierta en el Capítulo 6 de este Volumen, incluido los ensayos electrónicos, la transferencia térmica y las aplicaciones dieléctricas. Otro cómputo doble es posible en la cobertura de los solvente o donde los HFC y/o los PFC están

²⁴ CEFIC – Consejo Europeo de la Industria Química

²⁵ CEIT – países con economías en transición (del inglés, *Countries with Economies in Transition*)

contenidos como solventes en los aerosoles industriales. Éste es un ejemplo patente donde la línea de demarcación entre lo que actúa como sustituto de las SAO y lo que no, puede ser muy delgada. Para evitar toda confusión, en este capítulo se usa un enfoque en el que se consideran sólo aquellas transiciones tecnológicas que ocurren directamente desde las tecnologías de las SAO hacia las de los HFC y/o los PFC.

Si se tiene en cuenta que en los países desarrollados el retiro de circulación de las SAO (tanto de los CFC como de los HCFC) está completándose, se espera que la cantidad de nuevas aplicaciones emergentes sea muy limitado. Sin embargo, al menos en teoría, las nuevas aplicaciones pueden emerger hasta el plazo final del programa mundial de retiro de circulación de las SAO, en 2040.

7.7.2 Cuestiones metodológicas

7.7.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

La elección de métodos de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales (véase el árbol de decisión de la Figura 7.10, Árbol de decisión para las emisiones reales provenientes de otras aplicaciones).

Al escoger un método para esta área de aplicación es necesario considerar si las *Otras aplicaciones* se abordan como aplicación aparte, o como grupo. Lo primero conduce a una serie de métodos de Nivel 2, mientras que lo último conduce a un solo enfoque de Nivel 1.

Los usuarios finales de estas aplicaciones nicho son muy diversos. Como resultado, investigar estas aplicaciones por separado puede no ser factible. En cambio, se sugiere que estas variadas aplicaciones se dividan en aplicaciones muy emisivas, similares a los solventes y aerosoles, y en aplicaciones confinadas menos emisivas, similares a las espumas de celdas cerradas y a los refrigeradores. El desglose del consumo anual de gas que se destina a cada categoría debe determinarse mediante una encuesta sobre las aplicaciones de uso final.

La separación de los usos será:

- Emisivo = X% del consumo total (donde cabe esperar que X sea > 50%)
- Confinado = (100 - X)% del consumo total

La consecuencia de este enfoque es que, según la cantidad de sub-aplicaciones de cada clase, sería posible seguir un enfoque exclusivamente de Nivel 1 o, como alternativa, adoptar un método de Nivel 2. Dado que el criterio de diferenciación es el índice de emisión y que no se sabe si las sub-aplicaciones requieren mantenimiento o no, se recomienda el uso exclusivo del Enfoque A (enfoque por factor de emisión, es decir, los métodos de Nivel 1a y/o de Nivel 2a).

Ahora se considera la modelización de estas dos clases de sub-aplicaciones.

APLICACIONES EMISIVAS

Es una *buena práctica* utilizar el método de Nivel 1a, similar a los métodos descritos para los aerosoles y solventes. Durante el uso de estos fluidos en estas aplicaciones, se emite el 100 por ciento de la sustancia química en promedio durante los seis meses posteriores a la venta. En otras palabras, las emisiones del año t pueden calcularse según la ecuación para los solventes y aerosoles, de la manera siguiente:

ECUACIÓN 7.18
EVALUACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIONES RÁPIDAS DESDE OTRAS APLICACIONES

$$Emisiones_t = S_t \cdot EF + S_{t-1} \cdot (1 - EF)$$

Donde:

Emisiones_t = emisiones en el año t , toneladas

S_t = cantidad de HFC y PFC vendida en el año t , toneladas

S_{t-1} = cantidad de HFC y PFC vendidos en el año $t-1$, toneladas

EF = factor de emisión (= fracción del producto químico emitido durante el primer año después de la fabricación), fracción

El factor de emisión (EF) representa aquella fracción de la sustancia química que se emite durante el primer año después de la fabricación. Por definición, las emisiones sobre dos años deben alcanzar el 100 por ciento. Debe aplicarse esta ecuación individualmente a cada sustancia química.

APLICACIONES CONFINADAS

Ciertas aplicaciones poseen índices de fugas mucho más bajos. Donde se disponga de datos apropiados, se requiere un modelo separado de las emisiones para ajustarlas a estos índices de fugas menores. Cuando estos datos no existan, se pueden usar datos y factores de emisión derivados mundial o regionalmente. Entonces, la ecuación para las emisiones anuales es la siguiente:

ECUACIÓN 7.19
EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES PROVENIENTES DE OTRAS APLICACIONES CONFINADAS
Emisiones = Emisiones durante la fabricación del producto
+ Emisiones durante la vida útil del producto
+ Emisiones durante la eliminación del producto

Donde:

Emisiones durante la fabricación = Ventas anuales • Factores de emisión de la fabricación

Emisiones durante la vida útil = Banco • Índice de fugas

Emisiones durante la eliminación = Ventas anuales • Factores de emisión de la eliminación

7.7.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión para aquellas sub-aplicaciones con emisiones rápidas respetan criterios de selección similares a los de los solventes (Sección 7.2.2.2) y los aerosoles (Sección 7.3.2.2).

Los factores de emisión para las sub-aplicaciones confinadas dependen de la naturaleza particular de esa sub-aplicación. Si una serie de sub-aplicaciones es de naturaleza relativamente homogénea, todavía puede ser posible trabajar con un factor de emisión compuesto y adoptar un método de Nivel 1a. Sin embargo, allí donde haya variaciones considerables en la naturaleza de las sub-aplicaciones confinadas si no se dispone de factores de emisión adecuados, será más apropiado investigarlos específicamente. En ambos casos, la necesidad de disponer de factores de emisión separados conduce a la adopción del método de Nivel 2a.

7.7.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los datos de la actividad siempre son difíciles de determinar para las aplicaciones de nicho pequeño y los compiladores del inventario dependen de la cooperación de los proveedores de sustancias químicas para identificar las sub-aplicaciones que correspondan. Sin embargo, una vez identificadas, deben ser relativamente fáciles de cuantificar al nivel del país, pues es probable que sean de naturaleza bastante especializada.

Como se indica en la Figura 7.10, es una *buena práctica* realizar periódicamente una encuesta sobre los usos finales.

7.7.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Como se ha señalado en la Sección 7.7.2.3, el desafío principal es el de mantener un conocimiento actualizado sobre las *Otras aplicaciones*, a medida de que éstas emergen. Una ayuda a este respecto es la de cotejar regularmente las informaciones con las revisiones sobre la sustitución de las SAO (p. ej., los informes *UNEP Technical & Economic Assessment Panel Reports*).

7.7.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones originadas por *Otras aplicaciones* deben calcularse utilizando el mismo método y las mismas fuentes de datos para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para cualquier año de la serie temporal, deben recalcularse los vacíos según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

7.7.3 Evaluación de incertidumbre

Puede haber una amplia variedad de *otras aplicaciones* y, por lo tanto, no es posible proponer incertidumbres por defecto para estas fuentes. Sin embargo, se deben implementar procedimientos para evaluar los niveles de incertidumbre de acuerdo con las prácticas delineadas en el Volumen 1, Capítulo 3.

7.7.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

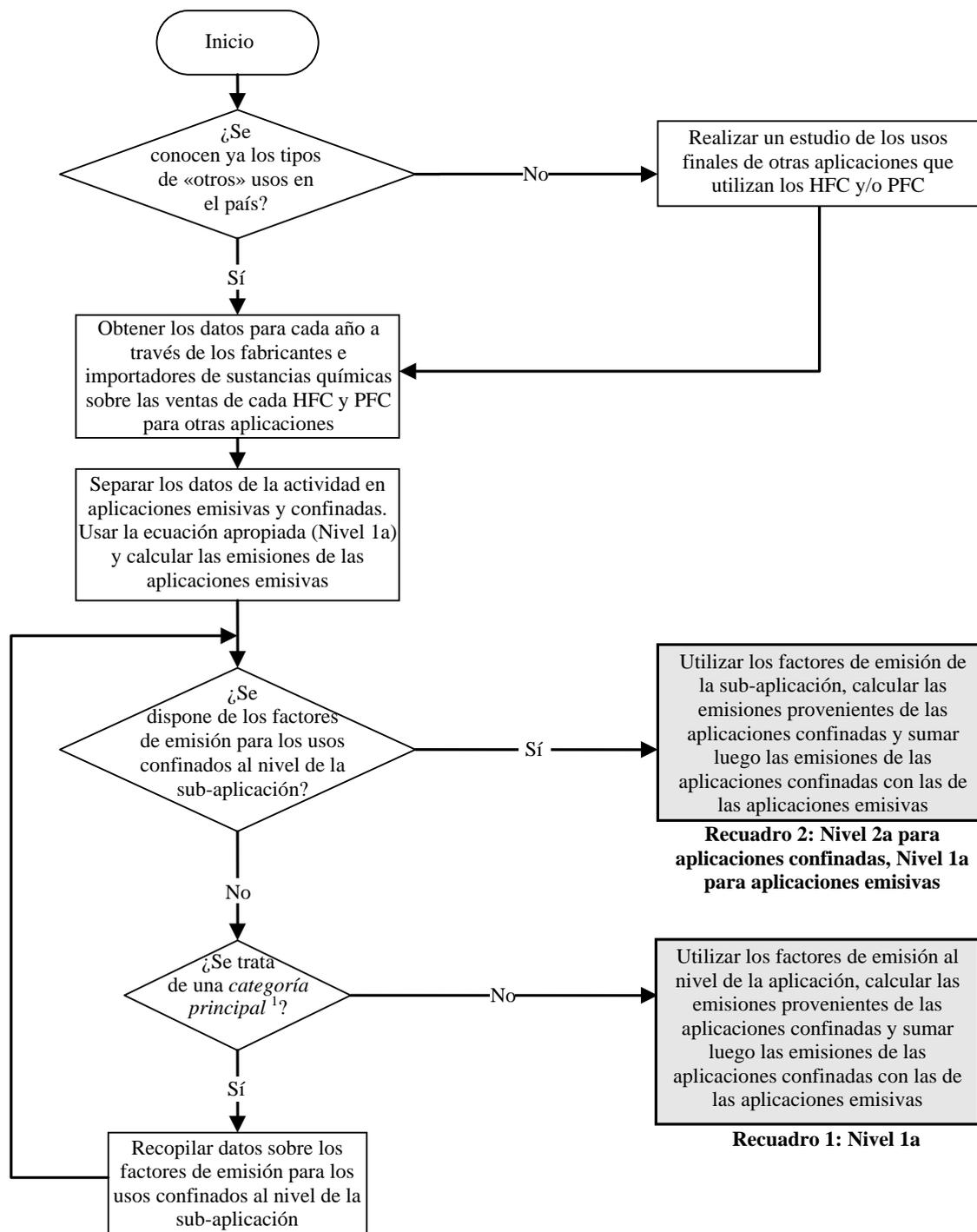
7.7.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. Esto puede implicar una referencia directa a las bases de datos mundiales o regionales para las evaluaciones paralelas que permiten las comparaciones de referencia. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, Capítulo 6, y procedimientos adicionales de garantía de calidad, si al determinar las emisiones de estas sub-aplicaciones se utilizan métodos de nivel superior. Sin embargo, si éste no fuera el caso, se pueden adoptar los enfoques básicos de GC/CC delineados en el Volumen 1, Capítulo 6.

7.7.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

El equilibrio entre la preservación de la confidencialidad y la transparencia de los datos es un tema importante, en particular en las sub-aplicaciones donde el uso es bajo. Muchas veces, pocos productores fabrican los sustitutos especializados de las SAO y en cantidades mucho menores que las de los sustitutos de las SAO utilizados en otras aplicaciones. Una agregación minuciosa de los datos ponderados por PCA puede ser un medio para resolver este problema.

Figura 7.10 **Árbol de decisión para las emisiones reales provenientes de otras aplicaciones**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

Referencias

- Ashford, P., Clodic, D., Kuijpers, L. and McCulloch, A. (2004). Emission Profiles from the Foam and Refrigeration Sectors – Comparison with Atmospheric Concentrations, *International Journal of Refrigeration*, 2004.
- Ashford, P. and Jeffs, M. (2004). Development of Emissions Functions for Foams and their use in Emissions Forecasting, *ETF Proceedings*, April 2004.
- Clodic, D., Palandre, L., McCulloch, A., Ashford, P. and Kuijpers, L. (2004). Determination of comparative HCFC and HFC emission profiles for the Foam and Refrigeration sectors until 2015. Report for ADEME and US EPA. 2004.
- Gamlen P.H., Lane B.C., Midgley P.M. and Steed J.M (1986). The production and release to the atmosphere of CFCl_3 and CF_2Cl_2 (chlorofluorocarbons CFC-11 and CFC-12). *Atmos. Environ.* 20: 1077-1085.
- IPCC (1996). *Climate Change 1995: Impacts, Adaptation, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis. The Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* R. T. Watson, M. C. Zinyowera, R. H. Moss, (eds.), Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (1997). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories.* Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (2000). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.* Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: Mitigation: Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by Metz, B., Davidson, O., Swart, R. and Pan, J., Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC/TEAP (2005). *IPCC/TEAP Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons.* Prepared by Working I and III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, and the Technology and Economic Assessment Panel [Metz, B., L. Kuijpers, S. Solomon, S. O. Andersen, O. Davidson, J. Pons, D. de Jager, T. Kestin, M. Manning, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 488 pp.
- Kroeze, C. (1995). Fluorocarbons and SF_6 : Global emission inventory and control. RIVM Report No. 773001007, Bilthoven, The Netherlands.
- McCulloch A., Ashford, P. and Midgley, P.M. (2001). Historic Emissions of Fluorotrichloromethane (CFC-11) Based on a Market Survey, *Atmos. Environ.*, 35(26), 4387-4397
- McCulloch A., Midgley, P.M. and Ashford, P. (2003). Releases of Refrigerant Gases (CFC-12, HCFC-22 and HFC-134a) to the Atmosphere, *Atmos. Environ.* 37(7), 889-902
- Palandre L., Barrault, S. and Clodic, D. (2003). Inventaires et prévisions des fluides frigorigènes et de leurs émissions, France. Année 2001. Rapport pour l'ADEME, mai 2003.
- Palandre, L., Barrault, S. and Clodic, D. (2004). Inventaires et prévisions des émissions de fluides frigorigènes France - Année 2002. Rapport pour l'ADEME. Août 2004.
- Schwarz, W. and Harnisch, J. (2003). Establishing the leakage rates of Mobile Air Conditioners. Final report for the EC. Ref. B4-3040/2002/337136/MAR/C1. 17 April 2003.
- UNEP-FTOC (1999). 1998 Report of the Rigid and Flexible Foams Technical Options Committee, UNEP, Ozone Secretariat, 1999.
- UNEP-FTOC (2003). 2002 Report of the Rigid and Flexible Foams Technical Options Committee, UNEP, Ozone Secretariat, 2003.
- UNEP-HTOC (1994). Assessment Report of the Halons Technical Options Committee, Report prepared for the United Nations Environment Programme, Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, <http://www.ozonelog.org>.
- UNEP-HTOC (2003). Assessment Report of the Halons Technical Options Committee, Report for the United Nations Environment Programme, Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, <http://www.ozonelog.org>, 69 pp.

- UNEP-RTOC (1999). 1998 Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee, 1998 Assessment, UNEP, Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, ISBN 92-807-1731-6
- UNEP-RTOC (2003). 2002 Report of the Refrigeration, air Conditioning and Heat Pumps Technical Options Committee, 2002 Assessment, UNEP, Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, ISBN 92-807-2288-3
- UNEP-TEAP (2002). April 2002 Report of the Technology and Economic Assessment Panel, Volume 3b, Report of the Task Force on Destruction Technologies. [S. Devotta, A. Finkelstein and L. Kuijpers (ed.)]. UNEP Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya.
- UNEP-TEAP (2005). May 2005 Report of the Technology and Economic Assessment Panel, Volume 3, Report of the Task Force on Foam End-of-Life Issues, UNEP Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya.
- U.S. EPA (1992a). U.S. Environmental Protection Agency, Risk Screen on the Use of Substitutes for Class I Ozone Depleting Substances Prepared in Support of the Significant New Alternatives Policy Program (SNAP), 1992.
- U.S. EPA (1992b). U.S. Environmental Protection Agency, Regulatory Impact Analysis: Compliance with Section 604 of the Clean Air Act for the Phaseout of Ozone Depleting Chemicals, 1992.
- U.S. EPA (2004a). U.S. Environmental Protection Agency, Analysis of International Costs to Abate HFC and PFC Emissions from Solvents (Preliminary Report), 2004
- U.S. EPA (2004b). U.S. Environmental Protection Agency, The U.S. Solvent Cleaning Industry and the Transition to Non- Ozone Depleting Substances, <http://www.epa.gov/ozone/snap/solvents/index.html>
- U.S. EPA/AHAM (2005). Disposal of Refrigerators/Freezers in the US – State of Practice (Baumgartner W., Kjeldsen P. *et al.*), 2005
- Verdonik, D.P. (2004). Modelling Emissions of HFCs and PFCs in the Fire Protection Sector, Proceedings of the Earth Technology Forum, Washington, DC, 2004, 13 pp.
- Verdonik, D.P. and Robin, M.L. (2004). Analysis of Emission Data, Estimates, and Modelling of Fire Protection Agents, Proceedings of the Earth Technology Forum, Washington, DC, 2004, 11 pp.
- Vo and Paquet (2004). An Evaluation of Thermal Conductivity over time for Extruded Polystyrene Foams blown with HFC-134a and HCFC-142b, ETF Proceedings, April 2004

CAPÍTULO 8

MANUFACTURA Y UTILIZACIÓN DE OTROS PRODUCTOS

Autores

Secciones 8.1, 8.2 y 8.3

Deborah Ottinger Schaefer (Estados Unidos)

Friedrich Plöger (Alemania), Winfried Schwarz (Alemania), Sven Thesen (Estados Unidos), Ewald Preisegger (Alemania), Ayite-Lo N. Ajavon (Togo), y Dadi Zhou (China)

Sección 8.4

Nigel Harper (Reino Unido)

Índice

8	Manufactura y utilización de otros productos	8.6
8.1	Introducción	8.6
8.2	Emisiones de SF ₆ y PFC procedentes de los equipos eléctricos	8.6
8.2.1	Introducción	8.6
8.2.2	Cuestiones metodológicas.....	8.7
8.2.2.1	Elección del método	8.7
8.2.2.2	Elección de los factores de emisión.....	8.15
8.2.2.3	Elección de los datos de la actividad	8.18
8.2.2.4	Exhaustividad	8.20
8.2.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	8.21
8.2.3	Evaluación de incertidumbre	8.21
8.2.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación.....	8.22
8.2.4.1	Garantía de calidad y Control de calidad.....	8.22
8.2.4.2	Generación de informes y documentación	8.23
8.3	Uso del SF ₆ y de los PFC en otros productos.....	8.24
8.3.1	Introducción	8.24
8.3.2	Cuestiones metodológicas.....	8.24
8.3.2.1	Elección del método	8.24
8.3.2.2	Elección de los factores de emisión.....	8.34
8.3.2.3	Elección de los datos de la actividad	8.34
8.3.2.4	Exhaustividad	8.34
8.3.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	8.34
8.3.3	Evaluación de incertidumbre	8.34
8.3.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación.....	8.35
8.3.4.1	Garantía de calidad y Control de calidad.....	8.35
8.3.4.2	Generación de informes y documentación	8.35
8.4	N ₂ O procedente del uso de productos	8.36
8.4.1	Introducción	8.36
8.4.2	Cuestiones metodológicas.....	8.37
8.4.2.1	Elección del método	8.37
8.4.2.2	Elección de los factores de emisión.....	8.37
8.4.2.3	Elección de los datos de la actividad	8.38
8.4.2.4	Exhaustividad	8.38
8.4.2.5	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	8.38
8.4.3	Evaluación de incertidumbre	8.38

8.4.3.1	Incertidumbres del factor de emisión	8.38
8.4.3.2	Incertidumbres en los datos de la actividad.....	8.39
8.4.4	Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación.....	8.39
Referencias	.....	8.40
Anexo 8A	Ejemplos de sistemas de inventarios nacionales de SF ₆ de Nivel 3	8.42

Ecuaciones

Ecuación 8.1	Método del factor de emisión por defecto.....	8.8
Ecuación 8.2	Emisiones procedentes de la eliminación de los equipos según el método del factor de emisión específico del país.....	8.9
Ecuación 8.3	Emisiones totales de Nivel 3.....	8.10
Ecuación 8.4A	Emisiones de la fabricación de los equipos – equilibrio de masas puro.....	8.10
Ecuación 8.4B	Emisiones de la fabricación de los equipos – Híbrido	8.11
Ecuación 8.4A	Emisiones de la instalación de los equipos – equilibrio de masas puro	8.11
Ecuación 8.5B	Emisiones de la instalación de los equipos – Híbrido	8.11
Ecuación 8.6A	Emisiones del uso de los equipos – equilibrio de masas puro.....	8.12
Ecuación 8.6B	Emisiones del uso de los equipos – Híbrido	8.12
Ecuación 8.7A	Emisiones de la eliminación y uso final de los equipos – equilibrio de masas puro.....	8.12
Ecuación 8.7B	Emisiones de la eliminación y del uso final de los equipos – Híbrido.....	8.13
Ecuación 8.8	Emisiones procedentes del reciclado del SF ₆ *	8.13
Ecuación 8.9	Emisiones procedentes de la destrucción del SF ₆	8.14
Ecuación 8.10	Enfoque por equilibrio de masas al nivel de los servicios	8.14
Ecuación 8.11	Capacidad nominal que se retira	8.19
Ecuación 8.12	Emisiones procedentes de los AWACS (factor de emisión por defecto).....	8.25
Ecuación 8.13	Emisiones procedentes de los AWACS (equilibrio de masas del usuario).....	8.26
Ecuación 8.14	Emisiones procedentes de los aceleradores universitarios y de investigación (al nivel del país).....	8.28
Ecuación 8.15	Emisiones procedentes de los aceleradores universitarios y de investigación (factor de emisión al nivel de los aceleradores)	8.29
Ecuación 8.16	Emisiones totales procedentes de los aceleradores de investigación	8.29
Ecuación 8.17	Emisiones procedentes de los aceleradores de investigación (equilibrio de masas al nivel de los aceleradores).....	8.29
Ecuación 8.18	Emisiones procedentes de los aceleradores industriales y/o de uso médico (al nivel del país).....	8.31
Ecuación 8.19	Aplicaciones de la propiedad adiabática	8.32
Ecuación 8.20	Ventanas de doble cristal: Ensamblado.....	8.32
Ecuación 8.21	Ventanas de doble cristal: Uso.....	8.32
Ecuación 8.22	Ventanas de doble cristal: Eliminación.....	8.33
Ecuación 8.23	Emisiones rápidas	8.34

Ecuación 8.24 Emisiones de N₂O procedentes del uso de otros productos 8.37

Figuras

Figura 8.1 Árbol de decisión para el SF₆ procedente de los equipos eléctricos¹ 8.8

Figura 8.2 Árbol de decisión para el SF₆ procedente de los AWACS..... 8.25

Figura 8.3 Árbol de decisión para el SF₆ procedente de los aceleradores de la investigación 8.28

Figura 8.4 Árbol de decisión para los aceleradores de partículas industriales y de uso médico 8.30

Figura 8A.1 Ejemplo del enfoque de Nivel 3: Alemania, equipos de alta tensión..... 8.42

Figura 8A.2 Ejemplo del enfoque de Nivel 3: Alemania, equipos de tensión intermedia..... 8.43

Cuadros

Cuadro 8.1 Prevención de los cálculos dobles y de las omisiones de emisiones: Dos ejemplos..... 8.14

Cuadro 8.2 Equipos eléctricos de presión sellados (Conmutadores de tensiones intermedias) que contienen SF₆: Factores de emisión por defecto..... 8.16

Cuadro 8.3 Equipos eléctricos de presión cerrados (Conmutadores de alta tensión) que contienen SF₆: Factores de emisión por defecto..... 8.16

Cuadro 8.4 Transformadores con aislación de gas que contienen SF₆: Factores de emisión por defecto..... 8.17

Cuadro 8.5 Incertidumbres de los factores de emisión por defecto y de la vida útil 8.22

Cuadro 8.6 Informaciones declarativas de Buena Práctica para las emisiones de SF₆ procedentes de los equipos eléctricos, por nivel 8.23

Cuadro 8.7 Emisiones de SF₆ por avión por año 8.25

Cuadro 8.8 Flotas nacionales de AWACS..... 8.26

Cuadro 8.9 Carga promedio de SF₆ en un acelerador de partículas por descripción del proceso 8.31

Cuadro 8.10 Factor de emisión para cada descripción del proceso (Emisiones de SF₆ procedentes de los aceleradores de partículas industriales y de uso médico) 8.31

8 MANUFACTURA Y UTILIZACIÓN DE OTROS PRODUCTOS

8.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se bosquejan los métodos para estimar las emisiones del hexafluoruro de azufre (SF_6) y de los perfluorocarbonos (PFC) generadas en la manufactura y utilización de los equipos eléctricos y muchos otros productos. Se proporcionan también los métodos para estimar las emisiones de óxido nitroso (N_2O) procedentes de varios productos. En la mayoría de estas aplicaciones, el SF_6 , el PFC o el N_2O se incorporan deliberadamente en los productos, para explotar una o varias de las propiedades físicas de la sustancia química, como la elevada constante dieléctrica del SF_6 , la estabilidad de los PFC y los efectos anestésicos del N_2O . Sin embargo, las aplicaciones que se analizan aquí poseen una amplia gama de perfiles de emisión, que van desde la liberación inmediata e inevitable de toda la sustancia química (p. ej., el uso de los PFC como trazadores atmosféricos), hasta una liberación retardada y muy evitable desde productos sellados contra las fugas, luego de 40 años de uso (p. ej., manufactura y utilización de equipos eléctricos de presión sellados). Los métodos de estimación que se presentan en este capítulo han sido adaptados para reflejar estas diferencias en los perfiles de emisión.

En la Sección 8.2 se detallan los métodos para estimar las emisiones de SF_6 y PFC generadas por los equipos eléctricos. En la Sección 8.3 se detallan los métodos para estimar las emisiones procedentes de la manufactura y del uso de una gran variedad de otros productos industriales, comerciales y de consumo corriente que contienen SF_6 y PFC, con la excepción de aquellos que se hayan analizado en otros capítulos de este volumen (p. ej., emisiones de PFC procedentes de las fabricaciones electrónicas, que se analizan en el Capítulo 6). (Véase la introducción a la Sección 8.3 que contiene la lista de las fuentes excluidas.) Por último, en la Sección 8.4 se analizan los métodos para estimar las emisiones de N_2O procedentes de los anestésicos, los propulsores y otros usos de productos.

8.2 EMISIONES DE SF_6 Y PFC PROCEDENTES DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS

8.2.1 Introducción

El hexafluoruro de azufre (SF_6) se emplea como aislante eléctrico y para interrumpir la corriente en los equipos utilizados en la transmisión y distribución de electricidad. Las emisiones se producen en cada etapa del ciclo de vida útil de los equipos, incluida la fabricación, la instalación, el uso, el mantenimiento y la eliminación. La mayor parte del SF_6 utilizado en los equipos eléctricos se emplea en conmutadores y subestaciones con aislación de gas (GIS, del inglés, *Gas-Insulated Substations*) y en los disyuntores a gas (GCB, del inglés, *Gas Circuit Breakers*), aunque parte del SF_6 se emplea en líneas de alta tensión con aislación de gas (GIL, del inglés, *Gas-Insulated Lines*), en transformadores para aparatos de medida externos con aislación de gas y en otros equipos. Las aplicaciones mencionadas pueden dividirse en dos categorías de confinamiento del gas. La primera categoría son los «Sistemas de presión sellados» o «Equipos herméticos», que se define como equipos que nunca necesitan ser recargados con gas (conservación del nivel de llenado) durante toda la vida útil y que generalmente contienen menos de 5 kg. de gas por unidad funcional.¹ En general, los equipos de distribución corresponden a esta categoría. La segunda categoría es la de los «Sistemas de presión cerrados», definida por incluir los equipos que requieren ser recargados con gas (conservación del nivel de llenado) durante la vida útil. Este tipo de equipo suele contener entre cinco y varios centenares de kilogramos por unidad funcional. Los equipos de transmisión entran normalmente dentro de esta categoría. Ambas categorías de equipos poseen más de 30 y hasta de 40 años de vida útil. En Asia se utilizan grandes cantidades de SF_6 en los transformadores de energía con aislación de gas (GIT).

Mundialmente, los equipos eléctricos son los mayores consumidores y los más importantes usuarios del SF_6 . Contribuyen de forma significativa a las emisiones planetarias de SF_6 . Sin embargo, la importancia de esta fuente varía considerablemente de una región a otra y de un país a otro. Las emisiones de esta categoría dependen, no sólo de las cantidades de SF_6 instaladas (en bancos) o consumidas, sino también -y mucho- de la

¹ Las definiciones formales de «sistema de presión sellado» y de «sistema de presión cerrado» están explicadas en la norma 60694 de la Comisión electro-técnica internacional (IEC, del inglés, *International Electro-technical Commission*), (IEC, 1996).

hermeticidad de los productos y de los procesos de manipulación aplicados. Los índices regionales promedio de emisión varían actualmente entre mucho menos del 1 por ciento y más del 10 por ciento. En general, los índices de emisión han disminuido significativamente desde 1995. Las acciones orientadas de la industria han reducido las emisiones un 50 a un 90 por ciento en Europa y en Asia (Ecofys, 2005; Aoyama, 2004). Estas acciones incluyen: (1) el diseño de equipos que requieren una carga menor de SF₆ y que son más herméticos, y (2) el mejoramiento de los procedimientos y equipos de manipulación para todas las etapas del ciclo de vida útil.²

En algunas regiones (p. ej., América del Norte y Japón), los perfluorocarbonos (PFC) se utilizan como dieléctricos y fluidos de transferencia térmica en los transformadores de energía. Los PFC se emplean también para actualizar retrospectivamente los transformadores enfriados anteriormente con CFC-113. Uno de los PFC utilizados en esta aplicación es el perfluorohexano (C₆F₁₄). Para los equipos eléctricos, se piensa que en términos de emisiones, sean éstas absolutas o ponderadas en carbono, las de los PFC son generalmente mucho menores que las de SF₆; sin embargo pueden haber excepciones regionales a este patrón.

8.2.2 Cuestiones metodológicas

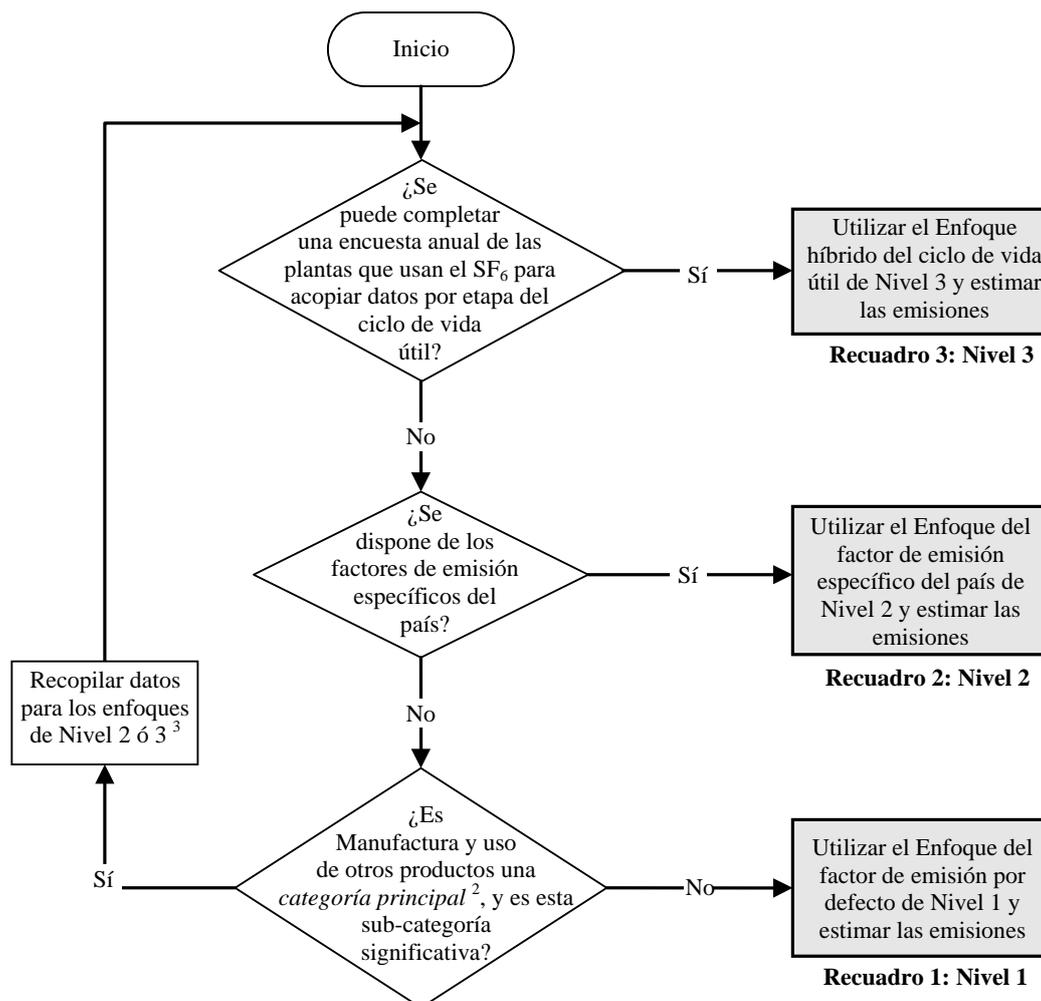
8.2.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Las emisiones de SF₆ procedentes de los equipos eléctricos pueden estimarse de varias maneras, con grados diferentes de complejidad y de intensidad en los requerimientos de datos. En esta sección se describe la *buena práctica* para utilizar el método de Nivel 1 (enfoque por defecto basado en factores de emisión), un método de Nivel 2 (enfoque basado en factores de emisión específicos del país) y un método de Nivel 3 (método híbrido que puede emplear enfoques basados, ya sea en el equilibrio de masas o en factores de emisión para las distintas etapas, según las circunstancias específicas del país). Por lo general, las estimaciones de emisiones más exactas se obtienen con el método de Nivel 3, el cual se implementa al nivel de la planta. Las estimaciones realizadas con el método de Nivel 1 son las menos exactas.

Al igual que para otras fuentes de emisiones, el nivel escogido depende de la disponibilidad de los datos y de la condición de esta fuente como *categoría principal*. En la Figura 8.1, Árbol de decisión para el SF₆ procedente de los equipos eléctricos, se resume el proceso de elección entre los Niveles 3, 2 y 1. La *buena práctica* para escoger entre las variantes por equilibrio de masas y por factor de emisión del enfoque de Nivel 3 se analiza en detalle en la Sección 1.5 del Capítulo 1. Esta elección depende tanto de la disponibilidad de los datos como de las circunstancias específicas del país. Como una primera etapa en la determinación de la importancia de las emisiones de SF₆ procedentes de los equipos eléctricos y de otras categorías analizadas en este capítulo, se alienta a los compiladores del inventario a contactar a los productores químicos y a los proveedores, así como a los fabricantes de equipos eléctricos y de servicios y/o las asociaciones industriales respectivas. Estas organizaciones pueden proporcionar información básica sobre el consumo de sustancias químicas y sobre las existencias de equipos y aplicaciones, que puede ayudar al compilador para estimar las emisiones e identificar las fuentes que merecen una investigación más avanzada. También pueden aportar consejos y soporte importantes para establecer sistemas más amplios de recopilación de datos que respalden las estimaciones de Nivel 2 y Nivel 3.

² El Consejo internacional de grandes redes eléctricas (CIGRE) ha publicado una guía sobre el manejo del SF₆, *Guide for the Preparation of customized "Practical SF₆ Handling Instructions,"* Task Force B3.02.01, CIGRE Publication No.276, August 2005. (CIGRE, 2005)

Figura 8.1 **Árbol de decisión para el SF₆ procedente de los equipos eléctricos¹**



Nota :

1. Al seleccionar un método de estimación, es una *buena práctica* considerar también los criterios presentados en el Cuadro 1.7, Capítulo 1, Sección 1.5 de este volumen para escoger entre las variantes por balance de masas y por factor de emisión de cada nivel.
2. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).
3. Es una *buena práctica* contactar las asociaciones nacionales y/o regionales de plantas y/o usuarios y fábricas para recopilar, verificar y agregar los datos reales e históricos.

MÉTODO DE NIVEL 1 – FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO

El enfoque de Nivel 1 es el más simple de los enfoques empleados para estimar las emisiones de SF₆ y PFC provenientes de los equipos eléctricos. (De ahora en adelante, en esta sección se usará el término «SF₆» para referirse a «SF₆ y/o PFC».) En este método, se estiman las emisiones multiplicando los factores de emisión regionales por defecto, donde sea apropiado, por el SF₆ consumido por los fabricantes de equipos y/o por la capacidad nominal de SF₆ de los equipos en cada etapa del ciclo de vida útil posterior a la fabricación en el país. Se puede omitir el término correspondiente a las emisiones de la instalación si (1) no se espera que se produzcan emisiones durante la instalación (es decir, en el caso de los equipos de presión cerrados), o (2) las emisiones de la instalación están incluidas en el factor de emisión para las emisiones procedentes de la manufactura o del uso. Los factores de emisión por defecto se presentan en los Cuadros 8.2 a 8.4.

Es una *buena práctica* emplear la ecuación siguiente:

ECUACIÓN 8.1
MÉTODO DEL FACTOR DE EMISIÓN POR DEFECTO

Emisiones totales = Emisiones de la fabricación + Emisiones de la instalación de los equipos
 + Emisiones del uso de los equipos + Emisiones de la eliminación de los equipos

Donde:

Emisiones de la fabricación = Factor de emisión de la fabricación • Consumo total de SF₆ por los fabricantes de los equipos.

Emisiones de la instalación de los equipos = Factor de emisión de la instalación • Capacidad nominal total de los equipos nuevos llenados en el sitio (y no en la fábrica).

Emisiones del uso de los equipos = Factor de emisión del uso • Capacidad nominal total de los equipos instalados.

El «factor de emisión del uso» incluye las emisiones debidas a las fugas, al servicio y mantenimiento, así como a las fallas.

Emisiones de la eliminación de los equipos = Capacidad nominal total de los equipos que se retiran • Fracción del SF₆ que permanece en los equipos retirados

MÉTODO DE NIVEL 2 – MÉTODO DEL FACTOR DE EMISIÓN ESPECÍFICO DEL PAÍS

El método de Nivel 2 utiliza la misma ecuación de base que el de Nivel 1, pero requiere factores de emisión específicos del país y fiables para cada etapa del ciclo de vida útil. Los factores de emisión específicos del país son más exactos pues reflejan las circunstancias únicas correspondientes al uso de los equipos eléctricos en un país determinado. Además, si se dispone de datos detallados sobre el retiro de los equipos, las emisiones provenientes del retiro pueden estimarse con mayor exactitud. La expresión para las Emisiones de la eliminación de los equipos en el método de Nivel 2 incluye términos que dan cuenta de la recuperación de SF₆ en el momento del retiro o durante la eliminación, de la manera siguiente:

ECUACIÓN 8.2

EMISIONES PROCEDENTES DE LA ELIMINACIÓN DE LOS EQUIPOS SEGÚN EL MÉTODO DEL FACTOR DE EMISIÓN ESPECÍFICO DEL PAÍS

Emisiones de la eliminación de los equipos = Capacidad nominal total de los equipos que se retiran
 • Fracción de SF₆ remanente al momento del retiro • (1 – fracción de los equipos que se retiran cuyo SF₆ es recuperado • eficiencia de recuperación • fracción del SF₆ recuperado que se recicla, se reutiliza sin otro tratamiento o se destruye*)

*Este último término está destinado a dar cuenta de las emisiones producidas durante el reciclado químico y la destrucción.

Nótese que para considerarlas de Nivel 2, las estimaciones deben desarrollarse empleando sólo factores de emisión específicos del país.

MÉTODO HÍBRIDO DE NIVEL 3 – EMISIONES POR ETAPA DEL CICLO DE VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS

El método de Nivel 3 es el más exacto para estimar las emisiones de SF₆ provenientes de los equipos eléctricos. Este método es detallado pero flexible e integra un amplio espectro de circunstancias nacionales. Se implementa al nivel de una planta e incluye ecuaciones separadas para cada fase del ciclo de vida útil de los equipos, que abarcan la fabricación, instalación, el uso y la eliminación de los equipos. Se puede usar, ya sea un enfoque por equilibrio de masas o por factores de emisión específicos del país (o de la planta), según el tipo de equipo, de etapa del ciclo de vida útil y de las circunstancias específicas del país. En general, es una *buena práctica* utilizar el enfoque por equilibrio de masas, excepto cuando: (1) los índices de emisión desde un proceso son cercanos o inferiores a la precisión de las mediciones necesarias para el enfoque por equilibrio de masas (p. ej., 3 por ciento de la capacidad nominal por año o menos); (2) los equipos no reciben nunca mantenimiento durante su vida útil (como se espera que sea el caso de los equipos de presión sellados); o bien, (3) las existencias de los equipos crecen muy rápidamente, como puede ser el caso de los países donde los equipos eléctricos fueron introducidos en los últimos 10 a 20 años.

El enfoque híbrido aumenta la exactitud al permitir el uso del enfoque por equilibrio de masas para algunos procesos y etapas del ciclo de vida útil y del enfoque por factor de emisión para otros procesos y etapas. Sin embargo, la combinación de enfoques diferentes introduce también la posibilidad de efectuar cálculos dobles o de omitir algunas emisiones. Los compiladores del inventario deben estar concientes de este problema y tomar medidas para evitarlo. En el Cuadro 8.1, Prevención de los cálculos dobles y de las omisiones de emisiones, se proporcionan ejemplos, tanto del problema como de sus soluciones.

En el anexo de este capítulo (Anexo 8A) se describe brevemente un ejemplo de implementación del enfoque de Nivel 3 en Alemania. El objetivo del ejemplo es sólo ilustrativo y no prescriptivo; el enfoque preciso que adopte un determinado país dependerá de sus circunstancias específicas.

En el caso ideal, se obtienen los datos sobre cada uno de los fabricantes de equipos, las instalaciones de transmisión y distribución de electricidad, los eliminadores de equipos (que puede ser un fabricante, una empresa de servicios públicos u otra entidad), las instalaciones de reciclado o destrucción del SF₆ en el país, y para desarrollar la estimación nacional, se suman las emisiones de todos estos fabricantes, empresas de servicios públicos, eliminadores o plantas de reciclado o de destrucción. La ecuación básica es:

ECUACIÓN 8.3
EMISIONES TOTALES DE NIVEL 3

$$\begin{aligned}
 \text{Emisiones totales} = & \sum \text{Emisiones de la fabricación de los equipos} \\
 & + \sum \text{Emisiones de la instalación de los equipos} \\
 & + \sum \text{Emisiones del uso de los equipos} \\
 & + \sum \text{Emisiones de la eliminación y uso final de los equipos} \\
 & + \sum \text{Emisiones del reciclado y destrucción del SF}_6
 \end{aligned}$$

Donde:

Emisiones de la fabricación de los equipos al nivel de la instalación, que pueden estimarse con las Ecuaciones 8.4A y 8.4B.

Emisiones de la instalación de los equipos al nivel de la instalación, que pueden estimarse con las Ecuaciones 8.5A y 8.5B.

Emisiones del uso de los equipos al nivel de la instalación, que pueden estimarse con las Ecuaciones 8.6A y 8.6B.

Emisiones de la eliminación y uso final de los equipos al nivel de la instalación, que pueden estimarse con las Ecuaciones 8.7A y 8.7B.

Emisiones del reciclado y destrucción del SF₆ al nivel de la instalación, que pueden estimarse con las Ecuaciones 8.8 y 8.9.

En la ecuación anterior, las emisiones nacionales para cada fase son iguales a la suma de las emisiones de todos los fabricantes, usuarios, eliminadores de equipos o servicios de reciclado y/o destrucción de SF₆ para esa fase. En la práctica, no siempre es posible obtener datos sobre cada planta; en estos casos, los países pueden utilizar uno de los métodos de extrapolación analizados en la Sección 8.2.2.3, Elección de los datos de la actividad.

Emisiones de la fabricación de los equipos

Las *emisiones de la fabricación de los equipos* pueden estimarse utilizando, un enfoque por *equilibrio de masas puro*, o una combinación (*híbrido*) del enfoque por equilibrio de masas para algunos procesos y uno basado en un factor de emisión para otros. Se prefiere el enfoque por equilibrio de masas puro, excepto para los casos en los que una fracción sustancial de las emisiones del fabricante provienen de procesos cuyos índices de emisiones están por debajo del nivel de precisión requerido por el enfoque por equilibrio de masas (p. ej., 3 por ciento de la capacidad nominal por año, o menos). En estos casos, es una *buena práctica* utilizar los factores de emisión para estimar las emisiones procedentes de los procesos con índices de emisión muy bajos y utilizar el enfoque por equilibrio de masas para estimar las emisiones procedentes de los otros procesos de fabricación.

Enfoque por equilibrio de masas puro: Al usar el enfoque por equilibrio de masas puro, es posible estimar las emisiones totales de cada fabricante de equipos empleando la siguiente ecuación:

ECUACIÓN 8.4A
EMISIONES DE LA FABRICACIÓN DE LOS EQUIPOS – EQUILIBRIO DE MASAS PURO

$$\begin{aligned}
 \text{Emisiones de la fabricación de los equipos} = & \text{Disminución de existencias de SF}_6 + \text{Adquisiciones de SF}_6 \\
 & - \text{Desembolsos de SF}_6
 \end{aligned}$$

Donde:

Disminución de existencias de SF₆ = SF₆ almacenado en los contenedores al principio del año – SF₆ almacenado en los contenedores al final del año

Adquisiciones de SF₆ = SF₆ comprado a los productores químicos o a los distribuidores a granel + SF₆ devuelto por los usuarios o distribuidores de equipos con (o dentro de) los equipos + SF₆ devuelto a la instalación después de haber sido reciclado en el exterior

Desembolsos de SF₆ = SF₆ contenido en los equipos nuevos entregados a los clientes + SF₆ entregado en contenedores a los usuarios de los equipos + SF₆ devuelto a los proveedores + SF₆ enviado al exterior de la instalación para ser reciclado + SF₆ destruido

Enfoque híbrido: Este método exige que los fabricantes separen los flujos de gases asociados con los procesos para los cuales se empleará el enfoque por equilibrio de masas, de los flujos de gases asociados con los procesos para los cuales se empleará el enfoque por factor de emisión. Las emisiones de los primeros pueden estimarse con el enfoque delineado en la Ecuación 8.4A. Las emisiones de los últimos pueden estimarse multiplicando la capacidad nominal total de los equipos que efectúan cada proceso (p. ej., el llenado), por el factor de emisión específico del país o de la planta para ese proceso. Las emisiones totales para cada fabricante se estiman entonces sumando las emisiones de ambos conjuntos de procesos, empleando la ecuación siguiente:

ECUACIÓN 8.4B

EMISIONES DE LA FABRICACIÓN DE LOS EQUIPOS – HÍBRIDO

Emisiones de la fabricación de los equipos = Ecuación 8.4A

$+ \sum \text{Capacidad nominal de los equipos que efectúan cada proceso}^*$

• *Factor de emisión para ese proceso*

* Excluido lo cubierto por la Ecuación 8.4.A

Emisiones de la instalación de los equipos

Las emisiones producidas durante la instalación de los equipos pueden estimarse con un enfoque, por *equilibrio de masas* o por *factor de emisión*. Nuevamente, se prefiere el enfoque por equilibrio de masas, excepto cuando los índices de emisión son muy bajos.

Enfoque por equilibrio de masas puro: Al usar el enfoque por equilibrio de masas puro, las emisiones totales de cada instalador de equipos pueden estimarse empleando la siguiente ecuación:

ECUACIÓN 8.4A

EMISIONES DE LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS – EQUILIBRIO DE MASAS PURO

Emisiones de la instalación de los equipos = SF₆ utilizado para cargar los equipos

– Capacidad nominal de los equipos nuevos

Enfoque híbrido: Este método primero exige que los usuarios separen los flujos de gases asociados con los equipos para los cuales se empleará el enfoque por equilibrio de masas, de los flujos de gases asociados con los equipos para los cuales se empleará el enfoque por factor de emisión. Las emisiones de los primeros pueden estimarse con el enfoque delineado en la Ecuación 8.5A. Las emisiones de los últimos pueden estimarse multiplicando la capacidad nominal recientemente instalada de cada tipo de equipo, por el factor de emisión específico del país o de la instalación para ese tipo. Las emisiones totales para cada instalador se estiman sumando las emisiones de ambos conjuntos de equipos, empleando la ecuación siguiente:

ECUACIÓN 8.5B

EMISIONES DE LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS – HÍBRIDO

Emisiones de la instalación de los equipos = Ecuación 8.5A +

$\sum \text{capacidad nominal de los equipos nuevos cargados en el sitio}^* \bullet \text{Factor de emisión de instalación}$

* Excepto lo que está cubierto por la Ecuación 8.5A

Emisiones del uso de los equipos

Las emisiones producidas durante el uso de los equipos pueden estimarse con un enfoque, ya sea por *equilibrio de masas puro* o *híbrido*. Es probable que el enfoque por equilibrio de masas puro sea el apropiado para los países donde: (1) los equipos eléctricos que utilizan el SF₆ hayan estado en uso durante 10 a 20 años, o más, y (2) las emisiones procedentes de los sistemas de presión sellados sean probablemente insignificantes. Es probable que el método híbrido sea apropiado para los demás países.

Enfoque por equilibrio de masas puro: Al usar el enfoque por equilibrio de masas puro, las emisiones totales de cada equipo pueden estimarse empleando la siguiente ecuación:

<p>ECUACIÓN 8.6A</p> <p>EMISIONES DEL USO DE LOS EQUIPOS – EQUILIBRIO DE MASAS PURO</p> <p><i>Emisiones del uso de los equipos = SF_6 para recargar equipos de presión cerrados en mantenimiento</i></p> <p><i>– SF_6 recuperado de equipos de presión cerrados en mantenimiento</i></p>
--

Enfoque híbrido: Este método primero exige que los usuarios separen los flujos de gases asociados con los equipos para los cuales se empleará el enfoque por equilibrio de masas, de los flujos de gases asociados con los equipos para los cuales se empleará el enfoque por factor de emisión. Las emisiones de los primeros pueden estimarse con el enfoque delineado en la Ecuación 8.6A. Las emisiones de los últimos pueden estimarse multiplicando la capacidad nominal total de cada tipo de equipo, por el factor de emisión específico del país o de la instalación para ese tipo de equipo. Es probable que el enfoque por factor de emisión sea más exacto para los equipos de presión sellados en todo lugar y para todos los tipos de equipos, en los países donde los equipos eléctricos hayan sido usados durante menos de 10 a 20 años. Las emisiones totales para cada usuario se estiman entonces sumando las emisiones de ambos conjuntos de equipos, empleando la ecuación siguiente:

<p>ECUACIÓN 8.6B</p> <p>EMISIONES DEL USO DE LOS EQUIPOS – HÍBRIDO</p> <p><i>Emisiones del uso de los equipos = Ecuación 8.6A</i></p> <p>$+ \sum$ <i>Capacidad nominal de los equipos instalados*</i></p> <p>• <i>Factor de emisión del uso</i></p>
--

* Excluido lo cubierto por la Ecuación 8.6A

Emisiones de la eliminación y uso final de los equipos

Las *emisiones producidas durante la eliminación y el uso final de los equipos* pueden estimarse con un enfoque, por *equilibrio de masas puro* o *híbrido*. En ambos enfoques, las emisiones procedentes de los equipos de presión cerrados se estiman empleando una ecuación de equilibrio de masas. En el enfoque por equilibrio de masas puro, las emisiones procedentes de los equipos de presión sellados también se estiman empleando una ecuación de equilibrio de masas. En el enfoque híbrido, las emisiones de los sistemas de presión sellados se estiman empleando un término basado en un factor de emisión.

Enfoque por equilibrio de masas puro: En los países donde la infraestructura de recolección de los gases (incluidos los equipos de recuperación, la capacitación del personal técnico y los incentivos económicos o legales para la recuperación) no está muy bien desarrollada ni ampliamente aplicada, es una *buena práctica* utilizar el enfoque por equilibrio de masas puro, de la manera siguiente:

<p>ECUACIÓN 8.7A</p> <p>EMISIONES DE LA ELIMINACIÓN Y USO FINAL DE LOS EQUIPOS – EQUILIBRIO DE MASAS PURO</p> <p><i>Emisiones de la eliminación y uso final = Emisiones de los equipos de presión cerrados</i></p> <p><i>+ Emisiones de los equipos de presión sellados (MB)</i></p>
--

Donde:

Emisiones de la eliminación y uso final procedentes de los equipos de presión cerrados = Capacidad nominal de los equipos de presión cerrados retirados – SF_6 recuperado desde los equipos de presión cerrados retirados, y

Emisiones de la eliminación y del uso final procedentes de los equipos de presión sellados (MB) = Capacidad nominal de los equipos de presión sellados retirados – SF_6 recuperado desde los equipos de presión sellados retirados

Nótese que si el compilador del inventario utiliza el enfoque por factor de emisión para estimar las «emisiones de uso» procedentes de los equipos de presión sellados, debe restar un término de la segunda ecuación para evitar el cómputo doble. Véase el Cuadro 8.1, Prevención de los cómputos dobles y de las omisiones de emisiones: Dos ejemplos para explicar este término.

Enfoque híbrido: en los países donde la eliminación de los equipos es un proceso bien controlado y comprendido (es decir, donde existe una buena infraestructura de recolección de gas), y donde las emisiones procedentes del

uso de los equipos de presión sellados se contabilizan más arriba como «uso», se puede emplear el método híbrido de la manera siguiente:

ECUACIÓN 8.7B
EMISIONES DE LA ELIMINACIÓN Y DEL USO FINAL DE LOS EQUIPOS – HÍBRIDO
Emisiones de la eliminación y uso final = Emisiones desde equipos de presión cerrados
+ Emisiones desde equipos de presión sellados (EF)

Donde:

Emisiones de la eliminación y del uso final procedentes de los equipos de presión cerrados = Capacidad nominal de los equipos de presión cerrados retirados – SF₆ recuperado desde los equipos de presión cerrados, y

Emisiones procedentes de la eliminación de equipos de presión sellados (EF) = [(Capacidad nominal de los sistemas de presión sellados retirados) – (Capacidad nominal de los sistemas de presión sellados retirados • Factor de emisión del uso • Vida útil del equipo)] • (1 – fracción de los equipos que se retiran cuyo SF₆ se recupera • eficiencia de recuperación)

Como se ha señalado más arriba, las emisiones estimadas mediante el empleo del enfoque anterior deben verificarse periódicamente, p. ej., a través del uso de un enfoque de equilibrio de masas puro y/o de la evaluación de la frecuencia y de las prácticas de recuperación. Los compiladores del inventario deben prestar una atención particular a la fracción de los equipos que se retiran cuyo SF₆ se recupera y a la fracción de la carga recuperada cuando se practica la recuperación («eficiencia de recuperación»). Aun en los países donde la recuperación del SF₆ de los equipos que se retiran es la norma, se puede producir el venteo de un pequeño porcentaje del SF₆, lo cual eleva los índices de emisión muy por encima del mínimo técnicamente alcanzable y que, en otras circunstancias, habría sido una base razonable para desarrollar un factor de emisión.

Emisiones del reciclado y la destrucción del SF₆

Algunas emisiones de SF₆ se producen después de que la sustancia química ha sido recuperada. Estas emisiones incluyen: (1) las emisiones asociadas con el reciclado del SF₆, y (2) las emisiones asociadas con la destrucción del SF₆. (Las emisiones asociadas con el transporte del SF₆ hacia instalaciones exteriores de reciclado o de destrucción se consideran insignificantes.) En general, se espera que las emisiones procedentes del reciclado de SF₆ sean pequeñas — del orden de menos de un uno por ciento de la cantidad total introducida en el proceso de reciclado. Sin embargo, estas emisiones pueden ser superiores si no se emplean prácticas y equipos de manejo de última generación. En la mayoría de los casos, se espera que el reciclado se produzca en el sitio del usuario o del fabricante del equipo. En otros casos, el reciclado puede realizarse en una instalación de reciclado centralizado que no está asociada con un productor químico. Por último, el reciclado puede tener lugar en las instalaciones del productor químico. Las emisiones procedentes del reciclado realizado por los productores químicos serán contabilizadas como producción química (véase la Sección 3.10 de este volumen) y no deben incluirse aquí.

Las emisiones asociadas con la destrucción de SF₆ dependen de la eficiencia de destrucción del proceso y de la cantidad de SF₆ introducida en él. Dadas la alta estabilidad y temperatura de disociación del SF₆, la eficiencia de destrucción puede ser tan baja como un 90 por ciento. Por lo tanto, hasta un 10 por ciento del SF₆ introducido en el proceso de destrucción podría ser emitido. Se espera, en general, que la cantidad de gas introducido en el proceso de destrucción sea pequeña en comparación con la que se recicla. Sin embargo, puede variar de un país al otro.

Es una *buena práctica* desarrollar factores de emisión específicos del país que estén basados en una consideración completa de la logística y de las prácticas específicas del país en relación con el reciclado y la destrucción del SF₆.

Las emisiones procedentes del reciclado del SF₆ pueden estimarse con la ecuación siguiente:

ECUACIÓN 8.8
EMISIONES PROCEDENTES DEL REICLADO DEL SF₆*
 Emisiones del reciclado = Factor de emisión del reciclado
 • Cantidad de SF₆ introducida en el proceso de reciclado

* deben excluirse las emisiones del reciclado que se producen en las instalaciones de producción química

Las emisiones procedentes de la destrucción del SF₆ pueden estimarse con la ecuación siguiente:

ECUACIÓN 8.9
EMISIONES PROCEDENTES DE LA DESTRUCCIÓN DEL SF₆
 Emisiones de la destrucción = Factor de emisión de la destrucción • Cantidad de SF₆ introducida en el proceso de destrucción

CUADRO 8.1	
PREVENCIÓN DE LOS CÓMPUTOS DOBLES Y DE LAS OMISIONES DE EMISIONES: DOS EJEMPLOS	
Ejemplo 1 – Cómputo doble	Ejemplo 2 – Omisión
<p>Situación: se utiliza un enfoque por factor de emisión para estimar las emisiones procedentes de los equipos de presión sellados durante su uso, y un enfoque por equilibrio de masas para estimar las emisiones producidas durante la eliminación de equipos de presión sellados.</p>	<p>Situación: se utiliza un enfoque por equilibrio de masas para estimar las emisiones procedentes de los equipos de presión cerrados durante su <i>uso</i>, pero se emplea un enfoque factor de emisión para estimar las emisiones producidas durante la <i>eliminación</i> de equipos de presión cerrados.</p>
<p>Problema potencial: las emisiones producidas durante el uso pueden ser contabilizadas dos veces porque parte del SF₆ que resulta faltante cuando se eliminan los equipos ya ha sido contabilizado como gas emitido durante el uso.</p>	<p>Problema potencial: las emisiones que se producen entre la acción de mantenimiento final y el momento de la eliminación de los equipos, son susceptibles de ser omitidas. Estas emisiones «de uso final» pueden justificar una fracción significativa del total de las emisiones producidas durante el uso, en particular si los equipos son recargados cada 10 años o más.</p>
<p>Solución: restar las emisiones producidas durante el uso dentro del periodo de vida útil (Capacidad nominal de los equipos de sistemas de presión sellados retirados • Factor de emisión del uso • Vida útil de los equipos) de las emisiones producidas durante la eliminación.</p>	<p>Solución: emplear el enfoque por equilibrio de masas, tanto para la fase del uso como para la fase de eliminación en el ciclo de vida útil de los equipos de presión cerrados.</p>

Un caso especial del método de Nivel 3: el nivel de los servicios, enfoque por equilibrio de masas puro

Los países que satisfacen los criterios de *buenas prácticas* para emplear el enfoque por equilibrio de masas puro más allá de la fase de fabricación de los equipos (es decir, los países donde las emisiones producidas durante las fases de instalación, uso y eliminación de los equipos justifican un 3 por ciento o más de los flujos de gas al nivel de las plantas, donde los equipos eléctricos han sido utilizados durante 10-20 años o más y donde las emisiones procedentes de los equipos de presión sellados son insignificantes), pueden utilizar, con muy poca o sin pérdida de exactitud, una versión simplificada del método de Nivel 3 para estimar las emisiones producidas durante la fase de uso de los equipos. Al ser adicionadas y reformuladas en términos de los flujos de gas al nivel de la planta, las ecuaciones 8.5A, 8.6A, y 8.7A se transforman en la ecuación siguiente:

ECUACIÓN 8.10
ENFOQUE POR EQUILIBRIO DE MASAS AL NIVEL DE LOS SERVICIOS
 Emisiones del usuario = Disminución de las existencias de SF₆ + Adquisiciones de SF₆ – Desembolsos de SF₆ – Aumento neto de la capacidad nominal de los equipos

Donde:

Disminución de las existencias de SF₆ = SF₆ almacenado en los contenedores al principio del año – SF₆ almacenado en los contenedores al final del año

Adquisiciones de SF₆ = SF₆ comprado a los productores químicos o a los distribuidores a granel + SF₆ comprado a los fabricantes o a los distribuidores de equipos con (o dentro de) los equipos + SF₆ devuelto a la instalación después de haber sido reciclado al exterior del sitio

Desembolsos de SF₆ = SF₆ contenido en los equipos vendidos a otras entidades + SF₆ devuelto a los proveedores + SF₆ enviado al exterior de la instalación para ser reciclado + SF₆ destruido

Aumento neto de la capacidad nominal de los equipos = Capacidad nominal de los equipos nuevos – Capacidad nominal de los equipos que se retiran

Aunque el enfoque al nivel de los servicios es menos detallado que el enfoque del ciclo de vida útil completo, es simple y proporciona, a los países cuyas circunstancias nacionales permiten su empleo, estimaciones estrechamente relacionadas con las pérdidas efectivas de gas.

EMISIONES DE SF₆ PROCEDENTES DE LA FABRICACIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS

Algunos componentes de los equipos eléctricos pueden contener un 1 por ciento o menos, en peso, del SF₆ utilizado en el medio aislante del producto. Estos componentes incluyen, sin carácter taxativo, los transformadores de tensión intermedia para aparatos de medida con resinas moldeadas y los aisladores pasamuros de alta tensión. En los transformadores de tensión intermedia (hasta 52 kV) para aparatos de medida con resinas moldeadas, el SF₆ se emplea para llenar las micro-cavidades de la resina aislante para mejorar la calidad dieléctrica y la durabilidad del producto. En los aisladores pasamuros de alta tensión (más de 52 kV), el SF₆ se emplea como agente espumante en la resina de poliuretano empleada en ciertas partes del sistema de aislación para mejorar la calidad dieléctrica y la durabilidad del producto.

Las emisiones de SF₆ se producen únicamente durante el proceso de moldeo y/o soplado utilizado para lograr la aislación sólida del producto. Se supone que todo el SF₆ utilizado se emite en la etapa de fabricación. Para estimar las emisiones de esta fuente se puede emplear el enfoque por equilibrio de masas puro para los fabricantes de equipos (Ecuación 8.4A), definiendo el SF₆ confinado en los equipos nuevos igual a cero.

Las medidas de reducción de las emisiones se concentran en la limitación de las pérdidas y/o en el mejoramiento de la tasa de reciclado utilizando dispositivos de succión y/o procesos mejorados de moldeo. En este tipo de aisladores pasamuros de alta tensión, el SF₆ podrá ser reemplazado por otro agente espumante en el futuro.

8.2.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Debido a que los índices de emisión pueden variar, no sólo de un país a otro, sino de una planta a otra, se alienta a los compiladores del inventario que emplean los métodos basados en factores de emisión a desarrollar sus propios factores de emisión. Una manera efectiva de desarrollar estos factores es sondear una muestra representativa de fabricantes de equipos y de servicios en el país. En general, es una *buena práctica* documentar las pruebas y los razonamientos en los cuales se apoyan los factores de emisión seleccionados y revisar estos factores por lo menos cada 5 años.

Entre los factores que influyen en los índices de emisión incluyen el diseño de los equipos (que varía según cuándo y dónde se fabrican los equipos), las prácticas de manejo del SF₆, la disponibilidad de los equipos de manejo de última generación, los precios del SF₆ y la reglamentación (p. ej., los requisitos de recuperación). La variación de cualquiera de estos factores puede afectar los índices de emisión a lo largo del tiempo o entre los países.

MÉTODO DE NIVEL 1

Se han desarrollado factores de emisión por defecto basados en investigaciones recientes, que se sugieren para algunas regiones. Se muestran estos factores en los Cuadros 8.2-8.4, más abajo:

Es una *buena práctica* seleccionar los factores de emisión por defecto de los países y las regiones donde los diseños de los equipos y las prácticas de manejo del SF₆ son similares a los del país cuyas emisiones se están estimando. Dado que el Japón y Europa suministran la mayor parte de la demanda mundial de equipos eléctricos, es muy probable que los diseños de los equipos sean similares, a los del Japón o a los de Europa. Con la excepción de los factores para los Estados Unidos, los factores de emisión por defecto regionales son los que están documentados para 1995, es decir, antes de que se implementara cualquiera medida industrial especial de reducción. En el Japón, en 1995, se recuperó aproximadamente el 70 por ciento del SF₆ utilizado para los ensayos de los equipos durante la fabricación y se recuperó un porcentaje similar durante el mantenimiento de los equipos de 110 kV o más. (La fracción del 70 por ciento de recuperación reflejaba la recuperación a una presión inicial de 5 bar. absolutos hasta una presión final de 1 a 1,5 bar. absolutos) No se recuperó el gas de los equipos diseñados para menos de 110 kV (Maruyama *et al.*, 2000). En Europa, en 1995, los sistemas de suministro de gas para la fabricación de equipos estaban generalmente descentralizados y los tubos de llenado no eran de cerrado automático. Durante la fabricación y el mantenimiento, el gas se recuperó a una presión de aproximada de 0,05 bar. absolutos (Ecofys, 2005).

CUADRO 8.2 EQUIPOS ELÉCTRICOS DE PRESIÓN SELLADOS (CONMUTADORES DE TENSIONES INTERMEDIAS) QUE CONTIENEN SF ₆ : FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO					
Región	Fase	Fabricación (Fracción del consumo de SF ₆ por fabricante)	Uso (incluye fugas, fallas principales y/o rupturas de arco y pérdidas de mantenimiento) (Fracción anual de la capacidad nominal de todos los equipos instalados)	Eliminación (Fracción de la capacidad nominal de los equipos eliminados)	
				Vida útil (años)	Fracción de la carga remanente en el momento del retiro ^b
Europa ^a		0,07	0,002	>35	0,93
Japón ^c		0,29	0,007	No declarado	0,95

^a Fuente: 'Reductions of SF₆ Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe,' Ecofys, June, 2005.

^b Se refiere al porcentaje de la carga original o de la capacidad nominal que permanece en los equipos al término de la vida útil; representa la fracción de la capacidad nominal eventualmente emitida antes de que los equipos hayan sido reciclados o eliminados.

^c Basado en datos declarados por la federación de compañías eléctricas y la asociación de fabricantes eléctricos del Japón (*Federation of Electric Power Companies (FEPC), Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA)*) (FEPC and JEMA, 2004). Al declarar los factores de emisión promedio, estas organizaciones no distinguían entre los tipos de equipos. Por lo tanto, se prevé que estos factores se apliquen a todos los tipos de equipos, incluidos los sistemas de presión sellados, los sistemas de presión cerrados y los transformadores con aislación de gas.

Nota: Los factores de emisión presentados más arriba reflejan las prácticas y las tecnologías en uso en 1995, es decir, antes de que se implementaran las medidas de mitigación. En las referencias para las notas a y c se muestra cómo se desarrollaron ulteriormente a través de la implementación sucesiva de varias medidas voluntarias. En otra referencia (Schwarz, 2006) se relacionan los factores de emisión de última generación con las medidas de mitigación implementadas en Alemania.

CUADRO 8.3 EQUIPOS ELÉCTRICOS DE PRESIÓN CERRADOS (CONMUTADORES DE ALTA TENSION) QUE CONTIENEN SF ₆ : FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO					
Región	Fase	Fabricación (Fracción del consumo de SF ₆ por fabricante)	Uso (incluye fugas, fallas principales y/o rupturas de arco y pérdidas de mantenimiento) (Fracción anual de la capacidad nominal de todos los equipos instalados)	Eliminación (Fracción de la capacidad nominal de los equipos eliminados)	
				Vida útil (años)	Fracción de la carga remanente en el momento del retiro ^c
Europa ^a		0,085 ^b	0,026	>35	0,95
Japón ^d		0,29 ^b	0,007	No declarado	0,95
Estados Unidos ^e		f	0,14 ^g	>35	h

^a Fuente: 'Reductions of SF₆ Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe,' Ecofys, June, 2005.

^b Incluye las emisiones procedentes de la instalación

^c Se refiere al porcentaje de la carga original o de la capacidad nominal que permanece en los equipos al término de la vida útil; representa la fracción de la capacidad nominal emitida antes que los equipos hayan sido reciclados o eliminados.

^d Basado en datos declarados por la federación de compañías eléctricas y la asociación de fabricantes eléctricos del Japón (*Federation of Electric Power Companies (FEPC), Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA)*) (FEPC and JEMA, 2004). Estas organizaciones declararon factores de emisión promedio que incluyen las emisiones de todos los tipos de equipos, incluidos los sistemas de presión sellados, los sistemas de presión cerrados y los transformadores con aislación de gas.

^e Tomado del inventario de Estados Unidos, *U.S. Inventory of Greenhouse Gases and Sinks, 1990-2002*. (U.S. EPA, 2004). El valor corresponde a 1999, primer año en que se dispuso de datos representativos específicos del país.

^f No se dispone de un valor específico del país.

^g Incluye las emisiones procedentes de la instalación

^h En Estados Unidos, las emisiones procedentes de la eliminación están incluidas en el factor de emisión del uso.

Nota: Los factores de emisión presentados más arriba reflejan las prácticas y las tecnologías en uso en 1995, es decir, antes de que se implementaran las medidas de mitigación. En las referencias para las notas a y d se muestra cómo se desarrollaron ulteriormente a través de la implementación sucesiva de varias medidas voluntarias. Schwarz (2006) relaciona los factores de emisión de última generación con las medidas de mitigación implementadas en Alemania.

CUADRO 8.4 TRANSFORMADORES CON AISLACIÓN DE GAS QUE CONTIENEN SF ₆ : FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO					
Región	Fase	Fabricación (Fracción del consumo de SF ₆ por fabricante)	Uso (incluye fugas, fallas principales y/o rupturas de arco y pérdidas de mantenimiento) (Fracción anual de la capacidad nominal de todos los equipos instalados)	Eliminación (Fracción de la capacidad nominal de los equipos eliminados)	
				Vida útil (años)	Fracción de la carga remanente en el momento del retiro ^a
Japón ^b		0,29	0,007	No declarado	0,95

^a Se refiere al porcentaje de la carga original o de la capacidad nominal que permanece en los equipos al término de la vida útil; representa la fracción de la capacidad nominal emitida antes de que los equipos hayan sido reciclados o eliminados.

^b Basado en datos declarados por la federación de compañías eléctricas y la asociación de fabricantes eléctricos del Japón (*Federation of Electric Power Companies (FEPC), Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA)*) (FEPC and JEMA, 2004). Al declarar los factores de emisión promedio, estas organizaciones no distinguían entre los tipos de equipos. Por lo tanto, se prevé que estos factores se apliquen a todos los tipos de equipos, incluidos los sistemas de presión sellados, los sistemas de presión cerrados y los transformadores con aislación de gas.

Nota: Los factores de emisión presentados más arriba reflejan las prácticas y las tecnologías en uso en 1995, es decir, antes de que se implementaran las medidas de mitigación. En las referencias para la nota b se muestra cómo se desarrollaron ulteriormente a través de la implementación sucesivas de varias medidas voluntarias. Schwarz (2006) relaciona los factores de emisión de última generación con las medidas de mitigación implementadas en Alemania.

MÉTODO DE NIVEL 2

Los factores de emisión para el método de Nivel 2 se desarrollan generalmente sobre la base de datos recopilados de los fabricantes y de las empresas de servicios representativos que efectúan un seguimiento de las emisiones por etapa del ciclo de vida útil, utilizando esencialmente el método de equilibrio de masas puro de Nivel 3 en sus propias instalaciones durante un año, por lo menos. (El factor de emisión para la eliminación debe dar cuenta también de las emisiones que se producen ulteriormente fuera del sitio del servicio, como se analiza a continuación.) Para desarrollar los factores de emisión, estas emisiones por etapa del ciclo de vida útil se dividen por el correspondiente consumo de SF₆ o por la capacidad de los equipos en la etapa correspondiente del ciclo de vida útil (es decir, el consumo de SF₆ para las emisiones procedentes de la fabricación, la capacidad total de los equipos existentes para las emisiones procedentes del uso y la capacidad de los equipos que se retiran para las emisiones procedentes del uso final y de la eliminación). Por ejemplo, para desarrollar un factor de emisión para la fabricación, se suman las emisiones totales obtenidas a través del sondeo de los fabricantes y se divide luego el resultado por el consumo total de SF₆ de los fabricantes encuestados. Este factor de emisión puede aplicarse luego al sector fabricación en su conjunto, utilizando el consumo nacional de SF₆ que corresponde a los fabricantes. Un enfoque similar puede emplearse para estimar y aplicar los factores de emisión para el uso de los equipos.

El factor de emisión para la eliminación debe tomar bien en cuenta tres factores: (1) la frecuencia de recuperación (la fracción de los equipos cuya carga se recupera); (2) la eficiencia de recuperación (la fracción de la carga recuperada cuando se efectúa la recuperación); y (3) las emisiones procedentes del reciclado y la destrucción del gas recuperado. Las cantidades (1) y (2) serán justificadas automáticamente por los factores de emisión que se basan en el empleo del método de equilibrio de masas de Nivel 3 para los servicios representativos. Sin embargo, la cantidad (3) refleja las emisiones que se producen, tanto en el sitio mismo como ulteriormente, fuera del servicio y/o del sitio del usuario. Por lo tanto, debe contabilizarse por separado. Véase el análisis del Método de Nivel 3, más abajo, para obtener una orientación sobre la estimación de los factores de emisión correspondientes al reciclado y a la destrucción.

La variante del enfoque de Nivel 3 al nivel de la instalación puede emplearse también para desarrollar los factores de emisión, pero éstos se aplicarán a un nivel más agregado, es decir, a la fabricación y al uso de los equipos (donde lo último incluye la instalación, el uso y la eliminación), en vez de aplicarlos a cada etapa del ciclo de vida útil.

MÉTODO DE NIVEL 3

Dado que el método de Nivel 3 fomenta el uso de factores de emisión sólo cuando los índices de emisión de los procesos son bastante bajos (p. ej., 3 por ciento de la capacidad nominal anual o menos) o sólo cuando los equipos eléctricos han sido introducidos recientemente en un país, puede ser difícil medir directamente los factores de emisión para este método con un enfoque por equilibrio de masas. Por lo tanto, para estimar los factores de emisión de Nivel 3 se puede recurrir a estudios de ingeniería que identifiquen los puntos de fugas potenciales y los mecanismos de las pérdidas, y les asignen las respectivas probabilidades e índices de emisión. Las fugas esperadas provenientes del servicio y del mantenimiento deben convertirse en factores correspondientes a los índices de emisión globales, así como deben serlo también las pérdidas provenientes de

sucesos infrecuentes pero catastróficos cuyos resultados se traducen en la pérdida de la mayor parte de la carga de los equipos. Debe considerarse la experiencia pasada con procesos y diseños similares. Para confirmar y verificar los factores de emisión para su uso, se pueden realizar encuestas en el campo después de varios años de uso de los equipos, determinando el número de años mediante el índice esperado de fugas y el límite de detección de los equipos de medición. Para ayudar a asegurar que los índices de pérdidas catastróficas o graduales no sean superiores a lo esperado, hay que monitorear las estadísticas de los fabricantes relativas a las tasas de falla de los equipos. Las emisiones procedentes de la eliminación son en extremo sensibles a las frecuencias de recuperación (la fracción de los equipos cuyas cargas se recuperan) y a las eficiencias de recuperación (1 fracción de la carga recuperada cuando se efectúa la recuperación, la cual, debido a consideraciones de tiempo, puede ser inferior a lo que es técnicamente alcanzable). Por lo tanto, éstas deben monitorearse y documentarse cuidadosamente antes de determinar los factores de emisión para la eliminación.

Los factores de emisión para el reciclado de SF₆ recuperado pueden basarse en el dictamen de profesionales. Los factores de emisión para la destrucción pueden basarse en la eficiencia de destrucción acreditada de la tecnología de destrucción, bajo la suposición de que la tecnología se mantiene y se opera de una manera que mantiene su eficiencia de destrucción acreditada.

8.2.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los datos de la actividad necesarios para implementar los distintos métodos de estimación pueden obtenerse de los fabricantes químicos, de los fabricantes, usuarios y eliminadores de equipos y/o de sus asociaciones industriales en el país o la región. Las mejores fuentes de datos varían según los métodos y las circunstancias nacionales.

MÉTODO DE NIVEL 1

Consumo de SF₆ por los fabricantes de equipos: El consumo de SF₆ por los fabricantes de equipos puede estimarse utilizando la información de los fabricantes sobre sus compras de SF₆, sus devoluciones de SF₆ a los productores químicos y los cambios ocurridos en las existencias de SF₆ en los contenedores. Si no se dispone de información de los fabricantes de equipos, o si ésta es incompleta, se puede utilizar la información proporcionada por los productores químicos y/o los distribuidores respecto de sus ventas a los fabricantes de equipos (menos las devoluciones).

Capacidad nominal de los equipos nuevos y los que se retiran: La capacidad nominal puede estimarse utilizando una o más de las siguientes fuentes de datos: (1) la información de los fabricantes y/o importadores de equipos sobre la capacidad nominal total de los equipos que fabrican o importan y exportan; (2) la información de los servicios sobre la capacidad nominal total de los equipos que instalan y retiran cada año, o (3) si no se dispone de la información de (1) o (2), la información de los fabricantes y/o importadores de sustancias químicas sobre sus ventas de SF₆ a los fabricantes de equipos. Las dos primeras fuentes de datos son preferibles a la tercera, pues las ventas de gases a los fabricantes de equipos será diferente de la capacidad nominal de los equipos nuevos instalados en el país, en particular si las importaciones o exportaciones de equipos son significativas. Al estimar las capacidades nominales de los equipos nuevos y de los que se retiran, los compiladores del inventario deben incluir la capacidad nominal de los equipos importados y excluir la capacidad nominal de los equipos exportados. (Para un análisis completo sobre la manera de tratar las importaciones y exportaciones al estimar estas cantidades, véase la Sección 7.5, Refrigeración, Recuadro 7.1, Contabilización de las importaciones y exportaciones de refrigerantes y de equipos. Esta orientación es directamente aplicable a esta categoría.)

En el caso de los equipos que se retiran, la información sobre capacidades o sobre ventas debe ser histórica y comenzar en el año de fabricación de los equipos que se retiran en el año en curso. Los valores típicos para la vida útil de los equipos eléctricos varían en un intervalo de 30 a 40 años. Si no se dispone de información sobre la capacidad nominal total de los equipos que se retiran, se la puede estimar a partir de la capacidad nominal nueva, utilizando la tasa de crecimiento anual de la capacidad de los equipos. Al estimar la tasa de crecimiento, es una *buena práctica* considerar tanto la cantidad de equipos vendidos cada año y la capacidad nominal promedio de los equipos.³

Si esta información no puede obtenerse directamente, puede emplearse la ecuación siguiente para estimar la capacidad nominal que se retira:

³ Aunque, en general, la cantidad de equipos vendidos cada año ha crecido, el promedio de la capacidad nominal ha disminuido.

ECUACIÓN 8.11**CAPACIDAD NOMINAL QUE SE RETIRA**

$$\text{Capacidad Nominal que se retira} = \text{Capacidad nominal nueva} / (1 + g)^L$$

Donde:

L = Vida útil promedio de los equipos

g = tasa de crecimiento

Según una encuesta mundial de 2004, la tasa de crecimiento anual promedio de las ventas de SF₆ a los fabricantes de equipos entre 1970 y 2000 fue aproximadamente de un 9 por ciento. (Smythe, 2004). A falta de información específica del país, se puede usar un factor por defecto del 9 por ciento.

Capacidad nominal total de los equipos instalados: La capacidad nominal total de los equipos puede estimarse recurriendo a las mismas fuentes de datos utilizadas para estimar la capacidad nominal de los equipos nuevos y de los que se retiran. Si se usan los datos de los fabricantes de equipos, se deben incluir los datos sobre las ventas durante todo el periodo de vida útil de los equipos (30 a 40 años).

MÉTODO DE NIVEL 2

Las cantidades pueden estimarse igual que para el Nivel 1, analizado más arriba.

MÉTODO DE NIVEL 3

Para implementar el método de Nivel 3, debe recopilarse la información en dos niveles. Al nivel de la instalación, los flujos de gas deben determinarse correctamente según el método de Nivel 3. Al nivel nacional, la información proveniente de las plantas (fabricantes, usuarios y eliminadores de equipos) debe recopilarse, verificarse, sumarse y, si fuere necesario, extrapolarse para incluir las estimaciones de las emisiones procedentes de las instalaciones que no hacen acopio de datos en el país. La orientación relacionada con la información que debe ser buscada y recopilada por instalación se proporcionan más arriba, en las descripciones del método de Nivel 3. El consumo de gas puede medirse pesando los cilindros de gas antes y después de las operaciones de carga o recuperación, o bien, al comienzo y al final del año o utilizando los medidores de flujo (p. ej., durante la fabricación de los equipos). Al nivel nacional, las asociaciones comerciales de fabricantes de equipos y de servicios pueden ser de una gran ayuda para difundir conocimiento a sus miembros, respecto del enfoque de Nivel 3 y ayudarlos a que realicen el seguimiento y declaren los datos de manera coherente y transparente. Las asociaciones comerciales pueden actuar también como terceros para agregar los datos confidenciales o sensibles, de modo que puedan hacerse públicos (de manera agregada). En los países donde las asociaciones no son activas, los compiladores del inventario nacional pueden facilitar el acopio de información al nivel de la instalación, así como declarar y verificar esta información desarrollando protocolos de seguimiento de los modelos de emisión o adoptando protocolos industriales existentes que encarnen el enfoque de Nivel 3. Luego pueden distribuirse estos protocolos a los fabricantes, usuarios y eliminadores de los equipos eléctricos. Los protocolos electrónicos como las hojas de cálculo facilitan aún más el seguimiento, la documentación y la declaración de las emisiones, y minimizan las posibilidades de cometer errores de aritmética.

Debido a que los índices de emisión pueden variar de una región a otra y de una planta a otra, es una *buena práctica* sondear tantas instalaciones como sea realizable. Además de encuestar a los fabricantes y a los servicios, los países deben sondear los sitios industriales y otros sitios que no son servicios eléctricos públicos, si éstos contribuyen de manera sustancial a las emisiones provenientes de los equipos eléctricos. Si la cantidad de instalaciones de un país es grande (p. ej., más de 50), puede resultar difícil realizar declaraciones completas. En estos casos, los países pueden estimar las emisiones provenientes de las instalaciones que no declaran aplicándoles los métodos de Nivel 2 o utilizando datos de la actividad alternativos, como los descritos en el Capítulo 2 del Volumen 1, Métodos para la recopilación de datos. Más abajo se analizan algunas consideraciones específicas de los sectores respecto de la selección y el uso de los datos alternativos de la actividad.

Para los equipos de presión sellados (que están muy dispersos entre los usuarios industriales y entre los servicios), es probable que los fabricantes y los distribuidores sean las mejores fuentes de información completa sobre el tamaño de los bancos nacionales y los índices de emisión. Para desarrollar una estimación exacta, los compiladores del inventario deben encuestar a los fabricantes en relación con sus ventas de equipos en el periodo transcurrido entre el presente y el momento en que fueron instalados los equipos que se retiran actualmente, o bien, si los equipos no han comenzado a ser retirados aún, entre el presente y el momento en que los equipos fueron introducidos al país.

Consideraciones específicas de los sectores respecto de la selección y el uso de los datos alternativos de la actividad para el Nivel 3

Como se ha analizado más arriba, aún cuando se implemente un método de Nivel 3, quizá no sea posible obtener datos proporcionados por todas las instalaciones. Para lograr una cobertura completa de las instalaciones, es posible utilizar datos de la actividad alternativos. Para estimar las emisiones producidas por los fabricantes que no declaran, puede ser posible utilizar la capacidad de fabricación y/o la parte del mercado colectivo (en términos de unidades funcionales) de los fabricantes no declarantes. Para estimar las emisiones de los servicios no declarantes, los posibles conjuntos de datos alternativos o indicadores incluyen (sin carácter taxativo): el largo de las líneas de transmisión, el largo combinado de las líneas de transmisión y distribución o la cantidad de subestaciones de los servicios no declarantes. Es probable que los kilómetros de líneas de transmisión sean un buen indicador de predicción de las emisiones, en los lugares donde la mayor parte del SF₆ se emplea en los equipos de transmisión de alta tensión, como los Estados Unidos. (En el Volumen 1, Capítulo 2, Métodos para la recopilación de datos, se puede consultar un análisis sobre cómo se utilizan los kilómetros de transmisión para estimar las emisiones en los Estados Unidos.) Uno de los otros tipos de datos puede ser apropiado en los lugares donde se utiliza un alto porcentaje del SF₆ en los equipos de distribución de tensiones intermedias o en subestaciones con aislación de gas.

Donde fuere que se utilicen conjuntos de datos alternativos, es importante derivar los factores de emisión a partir de un conjunto representativo de instalaciones, para garantizar que la estimación resultante de emisiones nacionales de SF₆ no resulte sesgada. Nótese que más de un factor puede ser apropiado, p. ej., para los servicios de diferentes tamaños o para los servicios en localidades urbanas versus rurales. Debido a que el uso y los patrones de emisión del SF₆ pueden cambiar con el tiempo, es una *buena práctica* actualizar los análisis y los factores de emisión, por lo menos cada cinco años. (Por ejemplo, los índices de emisión pueden cambiar a medida que los equipos compactos y a prueba de fugas vienen a reemplazar los equipos más grandes y con altos índices de fuga, y que crece la importancia de los equipos de presión sellados.) En algunos casos, los países pueden estar en condiciones de hacer uso de los factores de emisión desarrollados en países con redes de tendidos eléctricos similares. En estos casos, es una *buena práctica* documentar las similitudes existentes entre las redes de tendidos eléctricos, antes de aplicar el factor de emisión del otro país.

8.2.2.4 EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad para esta categoría de fuente requiere contabilizar las emisiones producidas durante la fabricación, el uso y la eliminación de los equipos, así como durante el reciclado o la destrucción del SF₆ recuperado de los equipos. Donde se usen los métodos de Nivel 3, la exhaustividad requiere que todos los usuarios significativos de SF₆ (fabricantes y servicios) estén identificados. Cuando no se disponga de datos sobre las emisiones al nivel de las instalaciones de todos estos usuarios, deben desarrollarse las estimaciones de las emisiones para todos utilizando uno de los métodos de extrapolación descritos en la Sección 8.2.2.3, Elección de los datos de la actividad.

En el sector de la fabricación, exige evaluar las emisiones provenientes de:

- Fabricación de conmutadores y subestaciones con aislación de gas (GIS), disyuntores a gas (GCB), líneas de alta tensión con aislación de gas (GIL), transformadores para instrumentos de medición para exterior con aislación de gas, reconectores, interruptores, unidades de circuitos anulares de ambos tipos (sistemas de presión sellados y cerrados, de hasta 52 kV y tensiones superiores, respectivamente) y otros equipos, incluidos sin carácter taxativo, los transformadores con resinas moldeadas para aparatos de medida y ciertos tipos de aisladores pasamuros que utilizan el SF₆, fuere como gas para el proceso de moldeo, o como agente espumante;
- Fabricantes de transformadores de energía con aislación de gas (GIT);
- Usuarios menores del SF₆, incluidos los rearmadores de equipos y las compañías de servicios;
- La cadena de distribución del SF₆ desde los productores y distribuidores hasta las plantas de fabricación.

En el sector de los servicios y de la eliminación, requiere contabilizar todas las pérdidas de SF₆ asociadas con:

- Instalaciones de equipos eléctricos nuevos;
- Fugas, recargas, mantenimiento y fallas de los equipos;
- Eliminación de equipos eléctricos desechados;
- Reciclado o destrucción del SF₆ recuperado desde los equipos (pero, las emisiones procedentes del reciclado por los productores químicos deben contabilizarse bajo Producción química, lo cual está cubierto en la Sección 3.10 de este volumen).

Es una *buena práctica* identificar e incluir las aplicaciones industriales, militares y de servicios menores si se piensa que éstas aportan sustancialmente al total de las emisiones procedentes de la categoría de fuente de los equipos eléctricos.

8.2.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Al estimar las emisiones procedentes de los usuarios de equipos para toda una serie temporal, es necesario considerar las emisiones de SF₆ asociadas con el conjunto completo de equipos utilizados en las instalaciones del usuario durante los años que interesan. Por lo tanto, cuando se utilizan los enfoques basados en bancos y en factores de emisión (p. ej. el enfoque de Nivel 2), los países necesitan información sobre la capacidad y los índices de emisión de los equipos comprados e instalados durante los 30 a 40 años que preceden a los años de interés.

En el sector de los usuarios, si no se dispone de datos históricos, es una *buena práctica* desarrollar estimaciones que empleen el método «de arriba hacia abajo», es decir, desarrollar un modelo basado en un dictamen profesional proporcionado por expertos de la industria y por los compiladores del inventario, y calibrarlas luego como se analiza más abajo. El promedio de los índices de fuga de los equipos nuevos y la frecuencia de las recargas y del mantenimiento de rutina son parámetros que han disminuido desde 1970 a 1995 y esta tendencia continúa hasta el presente. *No es una buena práctica* aplicar los índices de pérdidas globales actuales (posteriores al 2000) a los años históricos. Los índices de pérdidas agregadas estimadas a partir de las ventas históricas pueden usarse también en este caso.

Respecto de la fabricación, si no se dispone de datos históricos para desarrollar las emisiones del año de base de 1990 y/o 1995, se puede aplicar el método «de arriba hacia abajo», calibrándolo según las estimaciones más exactas de los años recientes. Dado que las prácticas de manejo del SF₆ por los fabricantes de equipos han cambiado mucho desde 1995 (p. ej., se recupera más gas), *no es una buena práctica* aplicar los índices de pérdidas actuales a las estimaciones históricas. Los índices de pérdidas agregadas, determinadas a partir de las ventas mundiales y regionales y de los análisis de las emisiones, pueden ayudar a proporcionar una estimación no sesgada para los años anteriores. Es una *buena práctica* recalcular las emisiones según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5, con todas las hipótesis claramente documentadas.

8.2.3 Evaluación de incertidumbre

Al emplear el método de Nivel 3, las estimaciones de las emisiones resultantes tendrán un grado de exactitud del orden de ± 10 por ciento y es probable que sean más exactas que las estimaciones desarrolladas con los métodos de Nivel 2 o 1. Si los sondeos son incompletos, la incertidumbre asociada será mayor. Entre las fuentes particulares de incertidumbre se pueden incluir:

- El SF₆ exportado por los fabricantes de equipos (ya sea en los equipos o aparte, en contenedores);
- El SF₆ importado por los fabricantes extranjeros de equipos (ya sea en los equipos o en contenedores);
- El SF₆ devuelto a las plantas extranjeras de reciclado;
- Las mediciones de masas, densidad y presión (generalmente exactas dentro de un margen de error del uno al dos por ciento de la cantidad total medida, pero si los índices de emisión son bajos, puede ser un porcentaje sustancial respecto de esos índices);
- Los factores de emisión;
- El tiempo de retardo entre las emisiones y el servicio de mantenimiento;⁴
- La vida útil de los equipos;
- Los errores de regresión asociados a cualquier método de extrapolación.

Las incertidumbres estimadas de los factores de emisión por defecto para el método de Nivel 1, se muestran en el Cuadro 8.5, Incertidumbres de los factores de emisión por defecto para las emisiones de SF₆ de los equipos eléctricos. Estos valores están basados en las variaciones observadas en los factores de emisión en Europa. Si los factores de los Cuadros 8.2-8.4 se aplican fuera de los países y/o regiones en los cuales fueron desarrollados, las incertidumbres serán mayores.

⁴ Para un análisis de este tema, véase el Capítulo 1 de este volumen.

CUADRO 8.5					
INCERTIDUMBRES DE LOS FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO Y DE LA VIDA ÚTIL					
Tipo de equipo	Fase	Fabricación	Uso (incluye fugas, fallas principales y/o rupturas de arco y pérdidas de mantenimiento)	Eliminación	
				Vida útil (años)	Fracción de la carga remanente en el momento del retiro
De presión sellado ^a		±20%	±20%	-20%/+40%	d
De presión cerrado ^b		±30%	±30%	-10%/+40%	d
Transformadores con aislación de gas ^c		±30%	±30%	-10%/+40%	d

^a Estimado a partir de 'Reductions of SF₆ Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe,' Ecofys, June, 2005; no se dispone de las incertidumbres correspondientes al Japón; no es pertinente para los Estados Unidos.

^b Estimado a partir de 'Reductions of SF₆ Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe,' Ecofys, June, 2005, los factores de emisión de los Estados Unidos tienen una incertidumbre mayor para la fabricación (±70%) y algo menor para el uso (±15%) (U.S. Inventory of Greenhouse Gases and Sinks (U.S. EPA, 2004)). No se dispone de las incertidumbres correspondientes al Japón.

^c Estimado por analogía con los sistemas de presión cerrados; las incertidumbres reales pueden ser ligeramente superiores. No se dispone de las incertidumbres correspondientes al Japón.

^d No se dispone de las incertidumbres correspondientes a la fracción de la carga remanente después del retiro.

8.2.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

8.2.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, así como procedimientos adicionales de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Más abajo se bosquejan algunos procedimientos adicionales específicos de los equipos eléctricos:

Comparación de las estimaciones de emisiones obtenidas mediante los diferentes enfoques

Los compiladores del inventario deben sumar los datos de nivel de instalación que se usan como parte de un método «de abajo hacia arriba» de Nivel 3, y cotejarlos con las emisiones de nivel nacional calculadas usando datos de nivel de país (el método de Nivel 2) y/o datos de nivel de país con los factores de emisión por defecto del IPCC (el método de Nivel 1). De manera similar, el método de Nivel 2 puede cotejarse con los resultados del método de Nivel 1. Los países pueden comparar también sus resultados con aquellos que se han derivado usando un enfoque por equilibrio de masas al nivel del país, como el descrito en las Ecuaciones 7.3 y 7.9 del Capítulo 7. Si los países no tienen instalaciones de fabricación, pueden comparar también sus estimaciones con las emisiones potenciales estimadas utilizando los datos nacionales de consumo aparente.

Revisión de los datos de la actividad

En todos los casos en los que los datos sobre las emisiones específicas de un sitio se obtengan a través de encuestas, los compiladores del inventario deben comparar los índices de emisión entre los sitios (ajustando para los tamaños o capacidades relativos) para identificar cualquier valor errático. Deben investigar los valores erráticos para determinar si las diferencias pueden explicarse o si hay errores en las emisiones declaradas. Como se ha señalado en la Sección 8.2.2.3, los compiladores del inventario nacional pueden facilitar tanto el acopio como la verificación de la información al nivel de las instalaciones mediante la distribución de protocolos de seguimiento de las emisiones que comprenden el enfoque de Nivel 3. Los protocolos electrónicos, como las hojas de cálculo, son particularmente útiles pues minimizan la probabilidad de cometer errores aritméticos. De

esta manera, los cálculos incluidos en estos protocolos (fueren electrónicos o no) podrán verificarse después de haber sido presentados.

Comparación de los índices de emisión con los de otros países

Los compiladores del inventario deben comparar los factores reales de emisión (índices de pérdidas) con los valores declarados por otros países de la región o con los valores por defecto publicados en la bibliografía científica para los equipos con similares diseños y niveles de control de las emisiones. Como se ha señalado más arriba, la transparencia de las declaraciones es esencial para efectuar las comparaciones internacionales.

8.2.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones sean transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

En el Cuadro 8.6, Informaciones declarativas de Buena Práctica para las emisiones de SF₆ procedentes de los equipos eléctricos, por nivel, se proporcionan algunos ejemplos de documentación y de informes específicos para esta categoría de fuente, que garantizan la transparencia en las declaraciones de las estimaciones de las emisiones declaradas.

Las cuestiones relacionadas con la confidencialidad pueden surgir cuando hay una cantidad limitada de fabricantes o de servicios. En estos casos, puede ser necesario presentar declaraciones agregadas para la totalidad del sector de los equipos eléctricos o incluso para la totalidad de las aplicaciones del SF₆ a nivel nacional. Las asociaciones nacionales o regionales de usuarios y fabricantes pueden manifestar la voluntad de recopilar, verificar y agregar los datos, en particular cuando han recopilado tales datos de manera histórica. Pueden entonces presentar la información agregada al compilador del inventario, lo cual resuelve así el problema de la confidencialidad. Si las respuestas a las encuestas no pueden divulgarse como información pública, puede ser necesario recurrir a una revisión de terceros para respaldar los esfuerzos de verificación de los datos.

CUADRO 8.6 INFORMACIONES DECLARATIVAS DE BUENA PRÁCTICA PARA LAS EMISIONES DE SF₆ PROCEDENTES DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS, POR NIVEL			
Datos	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 1
Consumo anual de SF ₆ por los fabricantes de equipos, a escala nacional		X	X
Capacidad nominal de los equipos nuevos	X	X	X
Capacidad nominal de los equipos existentes	X*	X	X
Capacidad nominal de los equipos que se retiran	X	X	X
SF ₆ destruido	X		
SF ₆ en las existencias al comienzo del año	X		
SF ₆ en las existencias al final del año	X		
SF ₆ comprado por la instalación	X		
SF ₆ vendido o devuelto por instalación	X		
SF ₆ expedido fuera del sitio para reciclado	X		
SF ₆ devuelto al sitio después del reciclado	X		
SF ₆ utilizado para cargar los equipos nuevos	X		
SF ₆ utilizado para dar mantenimiento a los equipos	X		
SF ₆ recuperado de los equipos que se retiran	X		
Factores de emisión y/o recuperación	X*	X	
Documentación sobre los factores, si son específicos del país	X*	X	
* Requerido para algunas variantes de los métodos			

8.3 USO DEL SF₆ Y DE LOS PFC EN OTROS PRODUCTOS

8.3.1 Introducción

Esta categoría de fuente excluye las siguientes categorías de fuentes que son abordadas en otros capítulos o secciones de las *Directrices de 2006*:

- La producción del SF₆ y de los PFC (Sección 3.10);
- La producción y el uso de los equipos eléctricos (Sección 8.2);
- La producción primaria y secundaria del magnesio y del aluminio (Capítulo 4); y
- La fabricación de semiconductores y de pantallas planas (Capítulo 6).

Las demás aplicaciones identificadas en esta categoría de fuente incluyen:

- El SF₆ y los PFC utilizados en aplicaciones militares, en particular el SF₆ empleado en los sistemas de radar aerotransportados, p. ej., los Sistemas aerotransportados de alerta y control o AWACS (del inglés, *Airborne Warning and Control System*), y los PFC empleados como fluidos de transferencia térmica en las aplicaciones electrónicas de alta potencia;
- El SF₆ utilizado en los equipos de los aceleradores de partículas de las universidades y de la investigación;
- El SF₆ utilizado en los equipos en los aceleradores de partículas médicos e industriales;
- Las aplicaciones «adiabáticas» que utilizan la baja permeabilidad del SF₆ y de algunos PFC a través del caucho, p. ej., los neumáticos de automóviles y las suelas del calzado deportivo;
- El SF₆ utilizado en las ventanas con vidrios insonorizados;
- Los PFC utilizados como fluidos de transferencia térmica en aplicaciones comerciales y del gran consumo;
- Los PFC utilizados en cosméticos y en aplicaciones médicas;
- Otros usos, p. ej., como sustancias trazadoras de gases en el aire, en los detectores de investigación y detectores de fugas.

8.3.2 Cuestiones metodológicas

8.3.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

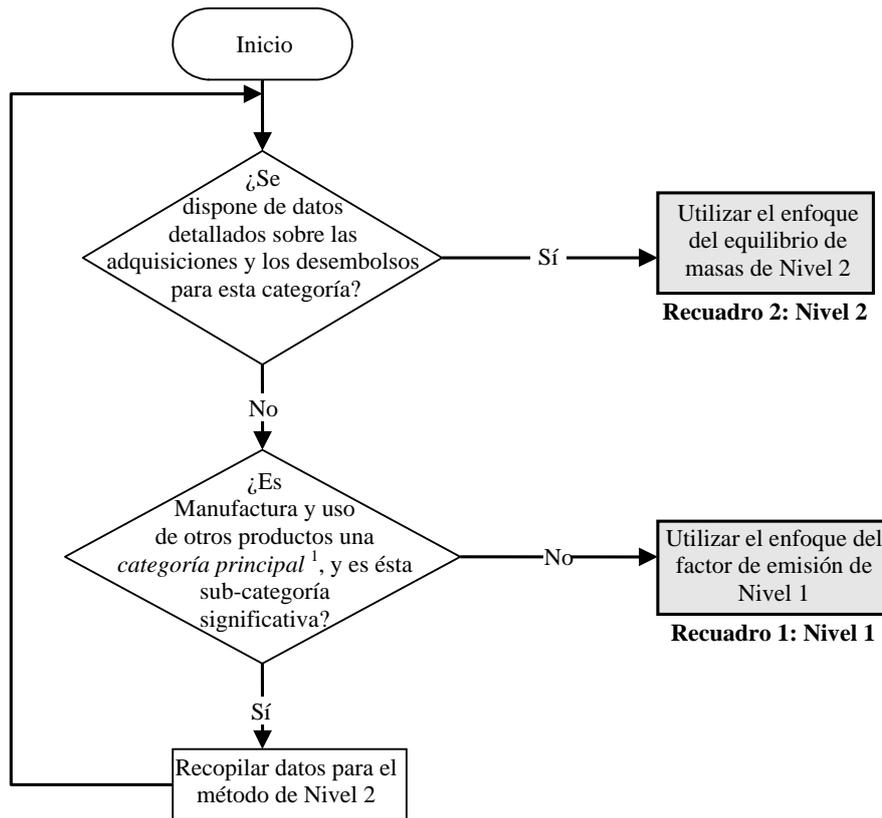
El método de *buena práctica* es utilizar los datos sobre consumo obtenidos de los usuarios del SF₆ o de los PFC, o los datos «de arriba hacia abajo» sobre las importaciones, exportaciones y consumo, obtenidos de los productores y distribuidores de SF₆, desagregados por tipos principales de aplicación del SF₆ o de los PFC. La adquisición de estos datos implica un sondeo de todos los productores y distribuidores de SF₆ y PFC, para identificar el consumo neto total de estas sustancias. Una vez que se hayan obtenido los datos, deben estimarse las cantidades de SF₆ y PFC consumidas por aplicación en esta categoría de fuente.

APLICACIONES MILITARES

EMISIONES DE SF₆ PROCEDENTES DE LA OPERACIÓN DE LOS AWACS

Se emplea el SF₆ como un medio aislante en los sistemas de radar de los aviones de reconocimiento militar de tipo Boeing E-3A, conocidos comúnmente como AWACS. La función del SF₆ es evitar las sobretensiones súbitas en los conductores huecos de la antena, donde predominan tensiones de más de 135 kV. Cuando el avión asciende, se libera el SF₆ automáticamente desde el sistema hacia la atmósfera, con el objetivo de mantener una diferencia de presión apropiada entre el sistema y el aire exterior. Cuando el avión desciende, el SF₆ se carga automáticamente dentro del sistema desde un contenedor de SF₆ a bordo. La mayoría de las emisiones se produce durante el proceso de equilibrio de presiones en el ascenso, pero las emisiones debidas a las fugas del sistema pueden producirse también durante las otras fases del vuelo o durante el tiempo transcurrido en tierra. Las emisiones anuales por avión se han estimado en 740 kg., mientras que la carga de cada sistema es de alrededor de 13 kg.

Figura 8.2 **Árbol de decisión para el SF₆ procedente de los AWACS**



Nota :

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

Método de Nivel 1 – emisiones de SF₆ por avión

Si un país no dispone de datos sobre el consumo de SF₆ de sus AWACS, para estimar las emisiones puede utilizar un factor de emisión por avión. En el Cuadro 8.7 se presenta un factor de emisión de 740 kg. por avión y por año; esta cifra se basa en las estimaciones de emisiones de SF₆ producidas por los aviones Boeing E-3As de la OTAN. Nótese que influye mucho sobre las emisiones reales por avión la cantidad promedio de despegues por avión y por año. Los despegues más frecuentes aumentan el índice de emisión sobre los 740 kg./avión; los despegues menos frecuentes lo disminuyen. Los índices de fugas durante el vuelo o durante el tiempo transcurrido en tierra afectan también el índice de emisión.

ECUACIÓN 8.12
EMISIONES PROCEDENTES DE LOS AWACS (FACTOR DE EMISIÓN POR DEFECTO)
 Emisiones del usuario = 740 ,kg. • Cantidad de aviones de la flota de AWACS

CUADRO 8.7 EMISIONES DE SF₆ POR AVIÓN POR AÑO	
Emisiones por avión por año (kg. de SF₆)	Incertidumbre
740 kg.	±100 kg.
Fuente: Schwarz (2005)	

El Cuadro 8.8 incluye información sobre las flotas nacionales de AWACS a escala mundial (Boeing, 2005); al igual que para otros datos de la actividad, éstos pueden quedar obsoletos muy rápidamente. Los países son los mejor informados sobre la cantidad de aviones existentes en sus flotas de AWACS.

CUADRO 8.8 FLOTAS NACIONALES DE AWACS							
País/ Organización	Estados Unidos	Japón	Francia	Reino Unido	Otro OTAN	Arabia Saudita	Total
Cantidad de AWACS	33	4	4	7	17	5	70
Fuente: Boeing (2005)							

Método de Nivel 2 – método por equilibrio de masas del usuario

El método más exacto para estimar las emisiones de SF₆ procedentes de los AWACS es el seguimiento del consumo de SF₆ por sistema. Para ello, se pueden usar las ecuaciones siguientes que son similares a las de la variante del método de Nivel 3 al nivel de los servicios para los equipos eléctricos. Nótese que para los AWACS, es probable que las adquisiciones y los desembolsos de los contenedores de SF₆ sean considerablemente más importantes para el resultado que las adquisiciones y los retiros de los sistemas operativos.

ECUACIÓN 8.13 EMISIONES PROCEDENTES DE LOS AWACS (EQUILIBRIO DE MASAS DEL USUARIO)	
Emisiones del usuario = Disminución de las existencias de SF ₆ + Adquisiciones de SF ₆ – Desembolsos de SF ₆ – Aumento neto de la carga en la flota de AWACS	

Donde:

Disminución de las existencias de SF₆ = SF₆ almacenado en los contenedores al principio del año
– SF₆ almacenado en los contenedores al final del año

Adquisiciones de SF₆ = SF₆ comprado a los productores químicos o a los distribuidores a granel
+ SF₆ comprado a los fabricantes o a los distribuidores de AWACS con (o dentro de) los aviones
nuevos + SF₆ devuelto al sitio después de haber sido reciclado al exterior del sitio

Desembolsos de SF₆ = SF₆ contenido en los AWACS transferidos a otras entidades + SF₆ devuelto a los
proveedores + SF₆ enviado al exterior del sitio para ser reciclado + SF₆ destruido

Aumento neto de la carga en la flota de AWACS = 13 kg. • (AWACS nuevos – AWACS retirados)

EMISIONES DE SF₆ Y PFC PROCEDENTES DE OTRAS APLICACIONES MILITARES

Hay un amplio espectro de aplicaciones militares que utilizan los PFC o el SF₆.⁵ Se piensa que la electrónica militar es una aplicación importante y creciente de los fluidos de transferencia térmica de PFC, los cuales son estimados por su estabilidad y por sus propiedades dieléctricas. Se utilizan los fluidos en radares terrestres y aerotransportados (klistrones), aeroelectrónica (aviónica), sistemas de teledirección de misiles, contramedidas electrónicas (ECM, del inglés *Electronic Counter Measures*), sonares, vehículos anfibios de asalto, otros aviones de reconocimiento y vigilancia aérea, láseres, iniciativa de defensa estratégica (SDI, del inglés *Strategic Defense Initiative*) y aviones furtivos. Los PFC pueden emplearse también para enfriar los motores eléctricos, en particular en las aplicaciones donde es apreciable la insonorización, p. ej., en barcos y submarinos. Se piensa que los PFC específicos que se usan en estas aplicaciones son similares a los que se han identificado en el Capítulo 6 como fluidos de transferencia térmica en la fabricación electrónica. Los procedimientos de enfriamiento por vaporización, por chorro de impacto y por ebullición estancada parecen ser los sistemas favoritos para la extracción de calor. En todas estas aplicaciones de enfriamiento, los PFC están confinados en un sistema cerrado y, al parecer, no se requieren recambios ni rellenados del PFC líquido. Por lo tanto, las mayores probabilidades de que ocurran emisiones se presentan en la fabricación, el mantenimiento y, en particular, durante la eliminación de los equipos.

El SF₆ se emplea en las cavidades conductoras de las antenas de los sistemas de radares terrestres y aerotransportados de alto rendimiento, para la transmisión de pulsos de energía de altas frecuencias a tensiones elevadas producidas por el klistrón. Otra aplicación del SF₆ es en calidad de oxidante del litio en los sistemas de

⁵ David Harris y James Hildebrandt, "Spray Cooling Electrical and Electronic Equipment," *COTS Journal*, noviembre de 2003; C. Shepherd Burton, "Uses and Air Emissions of Liquid PFC Heat Transfer Fluids from the Electronics Sector," Informe borrador para Scott C. Bartos, U.S. Environmental Protection Agency.

propulsión de energía química almacenada (SCEPS, del inglés *Stored Chemical Energy Propulsion System*), p. ej., en los torpedos navales y en los señuelos infrarrojos (Koch, 2004). Aparentemente, en estas aplicaciones el SF₆ se encuentra, por lo general, relativamente confinado, al igual que los fluidos de PFC de transferencia térmica enumerados más arriba, pero los procedimientos de mantenimiento y de ensayos pueden conducir a la producción de emisiones. También se ha señalado el uso del SF₆ para silenciar las hélices de los torpedos (NIST, 1997).

Además, el SF₆ puede emitirse como producto derivado del procesamiento del material nuclear para la producción del combustible de las ojivas nucleares. Se sabe que el SF₆ se emite a partir de la neutralización del exceso de flúor durante la producción de combustible nuclear para las aplicaciones civiles (AREVA, 2005).

Aunque se cree que las cantidades totales de SF₆ y de PFC consumidas y emitidas en este sector son significativas, hasta hoy no se dispone de datos públicos sobre estas cantidades. En consecuencia, los compiladores del inventario deben tratar de obtener información adicional de las autoridades pertinentes y, si fuera posible, de los proveedores. Como se ha señalado antes, las mayores probabilidades de generación de emisiones provenientes de muchas de estas aplicaciones parecen ocurrir en la fabricación, el mantenimiento y la eliminación de los equipos. Por lo tanto, los compiladores del inventario pueden acopiar información sobre los índices de emisión de la fabricación, el mantenimiento y la eliminación de los equipos, junto con las cantidades de equipos fabricados, en uso y eliminados, y estimar las emisiones empleando los métodos de Nivel 2 o Nivel 3 para los equipos eléctricos. Para las aplicaciones con perfiles de emisión diferentes (p. ej., con emisiones rápidas), se puede utilizar la ecuación apropiada de la Sección 8.2.

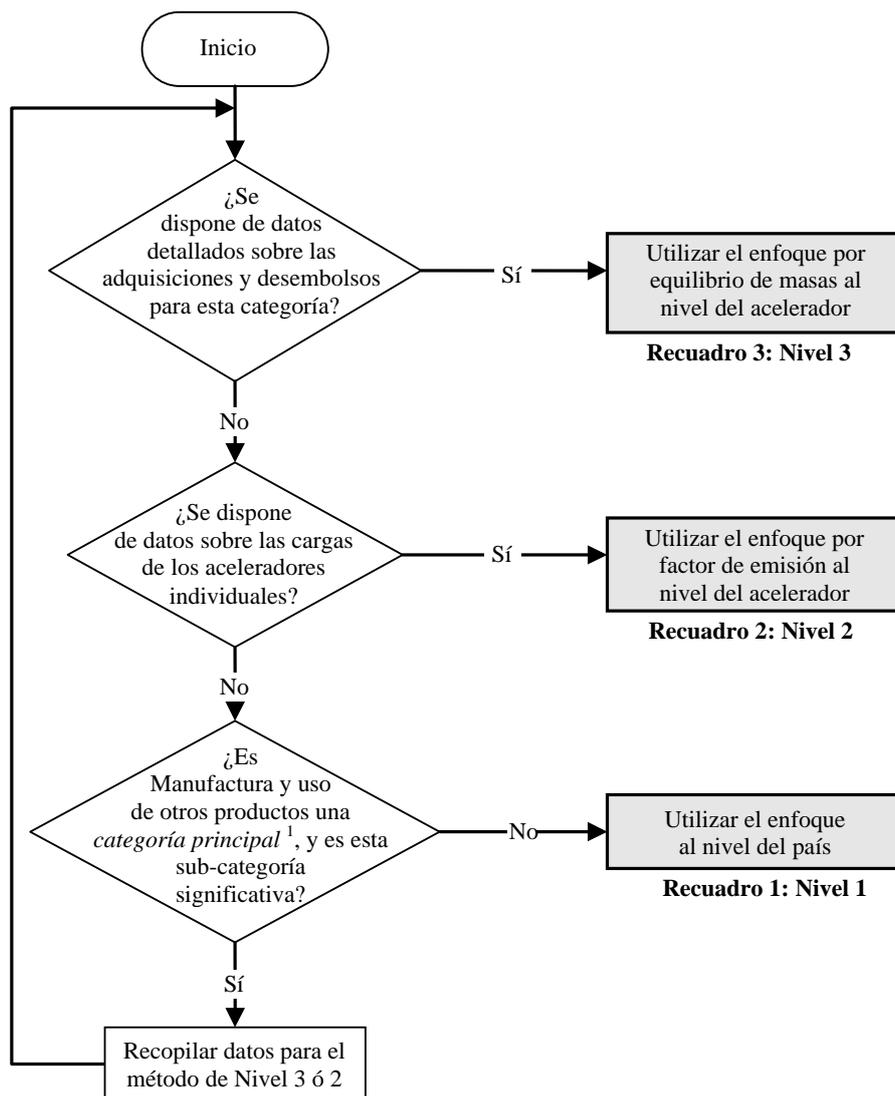
EMISIONES DE SF₆ PROVENIENTES DE LOS ACELERADORES DE PARTÍCULAS DE LAS UNIVERSIDADES Y DE LA INVESTIGACIÓN

El SF₆ se emplea como gas aislante en los aceleradores de partículas operados por las universidades y los organismos de investigación. Típicamente, los equipos de alta tensión están confinados y son operados dentro de un recipiente llenado con SF₆ a una presión superior a la presión atmosférica. Las cargas varían entre cinco kilogramos y decenas de miles de kilogramos, con cargas típicas entre 500 y 3 000 Kg. Cuando los equipos requieren mantenimiento, se transfiere el SF₆ hacia cisternas de almacenamiento. Las pérdidas de SF₆ se producen principalmente durante la recuperación y transferencia del gas, cuando se accionan las válvulas de alivio de presión, y a través de fugas lentas.

Basándose en dos estudios recientes, se ha establecido que las pérdidas anuales de SF₆ varían entre un 5 y un 7 por ciento de la capacidad del recipiente por año y que, en general, dependen de la frecuencia de apertura del recipiente, además de la eficiencia de los equipos de recuperación y de transferencia. La capacidad mundial de los bancos se estima aproximadamente en unas 500 toneladas, con 35 toneladas de emisiones de SF₆ anuales.

Suiza ha desarrollado un programa voluntario para reducir las emisiones de SF₆ provenientes de los aceleradores de partículas. Existen sugerencias y técnicas para reducir las emisiones de SF₆ de estas fuentes.

Figura 8.3 **Árbol de decisión para el SF₆ procedente de los aceleradores de la investigación**



Nota :

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

Método de Nivel 1 – método a nivel del país

En los casos en los que no se dispone de datos sobre la carga de los aceleradores de los usuarios individuales, un método extremadamente grosero consiste en determinar la cantidad total de aceleradores universitarios y de investigación existentes en el país y utilizar varios factores para determinar el índice de emisión anual al nivel del país, como se consigna en la Ecuación 8.14. Para este método de Nivel 1, el único dato que debe recopilarse es el de la cantidad total de aceleradores de partículas universitarios y de investigación existentes en el país en cuestión.

ECUACIÓN 8.14

**EMISIONES PROCEDENTES DE LOS ACELERADORES UNIVERSITARIOS Y DE INVESTIGACIÓN
(AL NIVEL DEL PAÍS)**

Emisiones = (Cantidad de aceleradores de partículas universitarios y de investigación en el país) •
(Factor de uso del SF₆) • (Factor de carga del SF₆, kg.) • (Factor de emisión de SF₆ para los aceleradores
de partícula universitarios y de investigación)

Donde:

Cantidad de aceleradores de partículas universitarios y de investigación en el país = la cantidad total de aceleradores de partículas universitarios y de investigación del país. Este método grosero no requiere que los países determinen la cantidad de aceleradores que utilizan el SF₆. Para determinar si

un país posee un acelerador de partículas, visite el sitio http://www-elsa.physik.uni-bonn.de/Informationen/accelerator_list.html

Factor de uso del SF₆ = 0,33; aproximadamente un tercio de los aceleradores de partículas universitarios y de investigación utilizan el SF₆ como aislante.

Factor de carga del SF₆ = 2400 kg de SF₆; carga de SF₆ promedio en un acelerador de partículas universitario y de investigación.

Factor de emisión de SF₆ para los aceleradores de partículas universitarios y de investigación = 0,07 ; índice de emisión promedio anual de un acelerador de partículas universitario y de investigación, expresado como fracción de la carga total.

Método de Nivel 2 – enfoque por factor de emisión al nivel del acelerador

Si se dispone de datos sobre la cantidad de SF₆ confinada dentro de cada acelerador universitario y de investigación, la carga total de SF₆ contenida en todos los aceleradores del país puede multiplicarse por un factor de emisión del 7 por ciento. El índice total de emisión de SF₆ del país para los aceleradores universitarios y de investigación puede calcularse con la Ecuación 8.15.

<p>ECUACIÓN 8.15</p> <p>EMISIONES PROCEDENTES DE LOS ACELERADORES UNIVERSITARIOS Y DE INVESTIGACIÓN (FACTOR DE EMISIÓN AL NIVEL DE LOS ACELERADORES)</p> <p>Emisiones totales = Factor de emisión de SF₆ de los aceleradores universitarios y de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> • \sum Cargas de los aceleradores individuales

Donde:

Factor de emisión de SF₆ para los aceleradores de partículas universitarios y de investigación = 0,07; índice de emisión promedio anual de un acelerador de partículas universitario y de investigación, expresado como fracción de la carga total.

Cargas de los aceleradores individuales = SF₆ contenido en cada acelerador universitario y de investigación.

Método de Nivel 3 – método por equilibrio de masas al nivel del acelerador

Las emisiones de SF₆ provenientes de las instalaciones de investigación que operan aceleradores de partículas pueden determinarse con un mayor grado de exactitud al nivel del usuario, acelerador por acelerador. Los cálculos de las emisiones se estiman mediante un seguimiento de la carga del acelerador, así como de su consumo de SF₆ y su eliminación. Como se detalla en la Ecuación 8.16, las emisiones totales son iguales a la suma de las emisiones de los usuarios individuales. Nótese que, según este método, como el índice de emisión de SF₆ global de los aceleradores de partículas es pequeña comparada con otros usos del SF₆, la pérdida asociada de SF₆ en la fabricación se considera insignificante y no se incluye en el cálculo.

<p>ECUACIÓN 8.16</p> <p>EMISIONES TOTALES PROCEDENTES DE LOS ACELERADORES DE INVESTIGACIÓN</p> <p>$Emisiones\ totales = \sum Emisiones\ de\ cada\ acelerador\ individual$</p>
--

Las emisiones de cada acelerador de partículas pueden calcularse de la manera siguiente:

<p>ECUACIÓN 8.17</p> <p>EMISIONES PROCEDENTES DE LOS ACELERADORES DE INVESTIGACIÓN (EQUILIBRIO DE MASAS AL NIVEL DE LOS ACELERADORES)</p> <p>Emisiones del acelerador = Disminución de las existencias de SF₆ + Adquisiciones de SF₆ – Desembolsos de SF₆ – Aumento neto de la carga del acelerador</p>
--

Donde:

Disminución de las existencias de SF₆ = SF₆ almacenado en los contenedores al principio del año – SF₆ almacenado en los contenedores al final del año

Adquisiciones de SF₆ = SF₆ comprado a los productores químicos o a los distribuidores a granel + SF₆ comprado a los fabricantes o a los distribuidores de aceleradores con (o dentro de) los componentes nuevos del acelerador + SF₆ devuelto al sitio después de haber sido reciclado al exterior

Desembolsos de SF₆ = SF₆ contenido en los componentes transferidos a otras entidades + SF₆ devuelto a los proveedores + SF₆ enviado al exterior del sitio para ser reciclado + SF₆ destruido

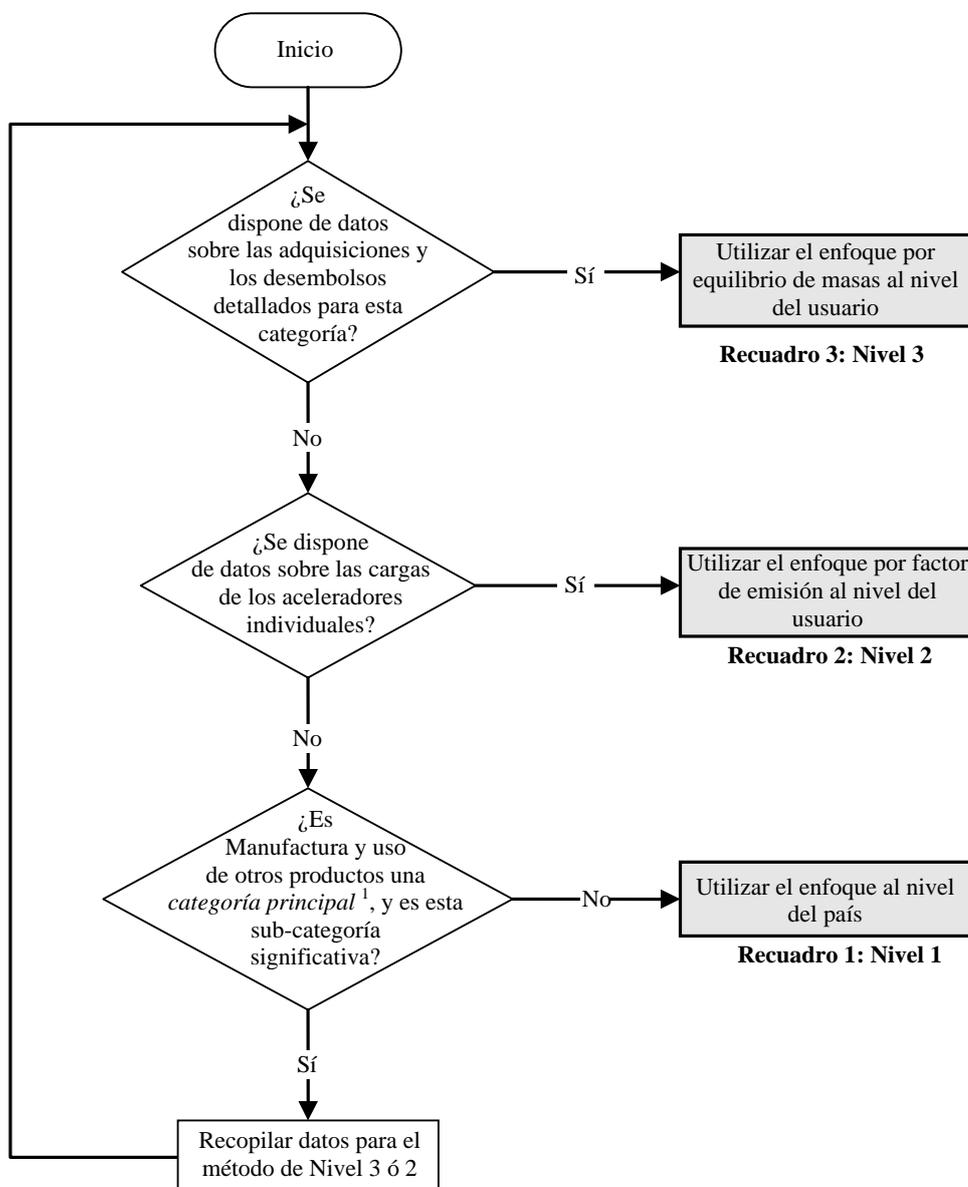
Aumento neto de la carga del acelerador = Carga de SF₆ de los componentes nuevos – Carga de SF₆ de los componentes que se retiran.

EMISIONES DE SF₆ PROVENIENTES DE LOS ACELERADORES DE PARTÍCULAS INDUSTRIALES Y DE USO MÉDICO

Se utiliza el SF₆ como gas aislante en dos tipos de aceleradores industriales de partículas (de baja y de alta tensión) y también en aceleradores de partículas de uso médico (terapia contra el cáncer), como es el caso de los aceleradores universitarios y de investigación. Sin embargo, como se analiza más abajo, los factores de emisión y de carga de los aceleradores de partículas industriales y médicos son diferentes a los de los aceleradores universitarios y de investigación.

La capacidad mundial de los bancos de los aceleradores industriales se estima aproximadamente en unas 500 toneladas, con 35 toneladas de emisiones de SF₆ anuales. La capacidad mundial de los bancos de los aceleradores de uso médico (radioterapia) se estima en forma gruesa en menos de 5 toneladas, con menos de 5 toneladas de emisiones de SF₆ anuales. Schwarz (2005).

Figura 8.4 **Árbol de decisión para los aceleradores de partículas industriales y de uso médico**



Nota :

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

Método de Nivel 1 – método al nivel del país

En los casos en los que no se dispone de datos sobre la carga de los aceleradores de los usuarios individuales, un método extremadamente grosero consiste en determinar la cantidad total de aceleradores de partículas por descripción del proceso existentes en el país y utilizar factores para determinar el índice de emisión anual al nivel del país, como se consigna en la Ecuación 8.18. Para este método de Nivel 1, el único dato que debe recopilarse es la cantidad total de aceleradores de partículas que contienen SF₆ por descripción del proceso en el país en cuestión.

ECUACIÓN 8.18
EMISIONES PROCEDENTES DE LOS ACELERADORES INDUSTRIALES Y/O DE USO MÉDICO
(AL NIVEL DEL PAÍS)

Emisiones = (Cantidad de aceleradores de partículas que usan SF₆ por descripción del proceso en el país) • (Factor de carga de SF₆, kg.) • (Factor de emisión de SF₆ aplicable para el acelerador de partículas)

Donde:

Cantidad de aceleradores de partículas que usan SF₆ por descripción de proceso en el país = número total de aceleradores de partículas por tipo (industrial de alta tensión, industrial de baja tensión y de uso en radioterapia) que emplean el SF₆ en el país, 1, 2, etc. (cuéntense sólo los aceleradores que emplean el SF₆; difiere de los cálculos de Nivel 1 para los aceleradores de partículas universitarios y de investigación).

Factor de carga de SF₆ = promedio de la carga de SF₆ en un acelerador de partículas por descripción del proceso, como se señala más abajo.

Factor de emisión de SF₆ para el acelerador de partículas = promedio del índice anual de emisión de SF₆ de los aceleradores de partículas, expresado como fracción de la carga total por descripción del proceso.

CUADRO 8.9 CARGA PROMEDIO DE SF₆ EN UN ACELERADOR DE PARTÍCULAS POR DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	
Descripción del proceso	Factor de carga de SF₆, kg.
Aceleradores industriales de partículas – alta tensión (0,3-23 MV)	1300
Aceleradores industriales de partículas – baja tensión (<0,3 MV)	115
Uso médico (radioterapia)	0,5 ^a
^a Éste es el promedio de los valores que fluctúan entre 0,05 kg. y más de 0,8 kg., según el modelo y el fabricante. Fuente: Schwarz (2005)	

Método de Nivel 2 – enfoque por factor de emisión al nivel del usuario

Si se dispone de datos sobre las cantidades de SF₆ contenidas dentro de cada acelerador industrial y de uso médico, utilícese el método de Nivel 2 para las instalaciones universitarias y de investigación; sin embargo, hay que multiplicar el factor de emisión de cada descripción del proceso proporcionado a continuación, por la carga total de SF₆ específica del país para esa descripción del proceso.

CUADRO 8.10 FACTOR DE EMISIÓN PARA CADA DESCRIPCIÓN DEL PROCESO (EMISIONES DE SF₆ PROCEDENTES DE LOS ACELERADORES DE PARTÍCULAS INDUSTRIALES Y DE USO MÉDICO)	
Descripción del proceso	Factor de emisión, kg./kg. de carga de SF₆
Aceleradores industriales de partículas – alta tensión (0,3-23 MV)	0,07
Aceleradores industriales de partículas – baja tensión (<0,3 MV)	0,013
Uso médico (radioterapia)	2,0 ^a
^a Éste es el promedio de los valores que fluctúan entre 1 kg. y 10 kg. por kg. de carga, según el modelo, el fabricante y los intervalos del mantenimiento. Fuente: Schwarz (2005)	

Método de Nivel 3 – método por equilibrio de masas al nivel del usuario

Para calcular las emisiones de SF₆ provenientes de los aceleradores de partículas industriales y de uso médico, utilícese el mismo método de Nivel 3 que para las instalaciones universitarias y de investigación. Es probable que las organizaciones de servicios al cliente para los fabricantes y distribuidores de los equipos posean información sobre las existencias, importaciones y exportaciones de equipos y sobre las cantidades de SF₆ utilizadas para llenar y recargar los equipos.

EMISIONES PROVENIENTES DE OTRAS APLICACIONES DEL SF₆ Y LOS PFC

Es una *buena práctica* contactar a todos los productores y/o distribuidores de gas para identificar a los usuarios del SF₆ y PFC, e investigar el consumo de gas en otras categorías de fuentes diferentes de las mencionadas más arriba. La diferencia fundamental entre las aplicaciones que se analizan más abajo es el retardo típico entre la compra del SF₆ o los PFC y la liberación de la sustancia química. En algunos casos (p. ej., el del SF₆ utilizado en los vidrios insonorizados y el de los PFC utilizados como fluidos de transferencia térmica), la sustancia química está bastante bien confinada durante la vida útil del equipo o producto y la mayoría de las emisiones está asociada con la fabricación y la eliminación del producto. En estos casos, el retardo entre la compra de la sustancia química y su emisión final depende de la vida útil del producto, que se extiende entre los tres años para los neumáticos y el calzado deportivo hasta los 25 años para los vidrios insonorizados. En otros casos (p. ej., el uso del SF₆ y los PFC como trazadores en las aplicaciones médicas), se emite la totalidad de la sustancia química dentro del año de su compra. Si, como resultado de un sondeo inicial, se distinguen aplicaciones con emisiones retardadas que parecen significativas, es una *buena práctica* utilizar un cálculo de las emisiones específico de la categoría de fuente que tome en cuenta el retardo de las emisiones.

Usos adiabáticos

Los usos adiabáticos del SF₆ y de algunos PFC explotan la baja permeabilidad de estos gases para atravesar el caucho. El SF₆ ha sido históricamente el gas dominante en este tipo de aplicación; sin embargo, los PFC con pesos moleculares similares (como el C₃F₈) también se han usado recientemente. Entre las aplicaciones con periodos de retardo de 3 años se incluyen: neumáticos, calzado deportivo y pelotas de tenis (Schwarz *et al.*, 1996). La fórmula siguiente se puede utilizar para las aplicaciones que presentan emisiones con retardos de tres años.

ECUACIÓN 8.19

APLICACIONES DE LA PROPIEDAD ADIABÁTICA

Emisiones en el año t = ventas en el año $(t - 3)$

Vidrios insonorizados

Ventanas insonorizadas de doble cristal: alrededor de un tercio de la cantidad total del SF₆ comprado se libera durante el ensamblado (es decir, durante el llenado de la ventana de doble cristal). Se supone un índice de fugas anual de un 1 por ciento (incluida la ruptura de los cristales) para el gas confinado dentro de la ventana (capacidad). En consecuencia, al cabo de 25 años de vida útil permanece alrededor de un 75 por ciento del contenido inicial. La aplicación del SF₆ en las ventanas comenzó en 1975, de modo que la eliminación recién está comenzando. Las emisiones de esta subcategoría de fuente deben calcularse empleando las Ecuaciones 8.20 a 8.22:

ECUACIÓN 8.20

VENTANAS DE DOBLE CRISTAL: ENSAMBLADO

Emisiones del ensamblado en el año $t = 0,33 \bullet$ SF₆ comprado para llenar las ventanas ensambladas en el año t

ECUACIÓN 8.21

VENTANAS DE DOBLE CRISTAL: USO

Emisiones por fugas en el año $t = 0,01 \bullet$ Capacidad de las ventanas existentes en el año t

ECUACIÓN 8.22**VENTANAS DE DOBLE CRISTAL: ELIMINACIÓN**

Emisiones de la eliminación en el año t = Cantidad restante en la ventana al fin de la vida útil en el año $t \cdot (1 - \text{Factor de recuperación})$

A menos que se disponga de datos específicos del país, en la Ecuación 8.22 se supone un factor de recuperación por defecto de valor cero. Si no se dispone de información específica sobre estas subcategorías de fuente, es una *buena práctica* tratarlas como emisiones rápidas.

PFC utilizados como fluidos de transferencia térmica en aplicaciones comerciales y del gran consumo

Se emplean los PFC como fluidos de transferencia térmica en varias aplicaciones electrónicas de alta densidad de potencia, tanto comerciales como de gran consumo. Las aplicaciones comerciales incluyen los sistemas de enfriamiento de supercomputadoras, telecomunicaciones y radares de aeropuertos, así como las unidades motoras (rectificadores) de los trenes de alta velocidad (Burton, 2006). Estas aplicaciones consumen volúmenes mucho menores de PFC líquidos que la fabricación electrónica, pero se piensa que pueden ser significativas en algunas aplicaciones «nicho». Las aplicaciones de gran consumo incluyen los equipos de enfriamiento de las computadoras de oficina que operan a tensiones elevadas para aumentar la velocidad de procesamiento. Se piensa que los PFC específicos que se utilizan en estas aplicaciones son similares a los identificados en el Capítulo 6, en los fluidos de transferencia térmica de la fabricación electrónica. En todas estas aplicaciones, se emplean los PFC líquidos en módulos cerrados, lo cual indica que la mayor parte de las emisiones se produce durante la fabricación, el mantenimiento y la eliminación del producto o equipo. Por lo tanto, si los compiladores del inventario pueden obtener información sobre los índices de emisión durante la fabricación, el mantenimiento y la eliminación de los equipos, junto con las cantidades de equipos fabricados, utilizados y eliminados cada año, para estimar las emisiones pueden emplear el método de Nivel 2 o de Nivel 3 para los equipos eléctricos. Para las aplicaciones con perfiles de emisión diferentes (p. ej., con emisiones rápidas), se puede utilizar la ecuación apropiada de la Sección 8.2.

PFC utilizados en cosméticos y en aplicaciones médicas

En las aplicaciones cosméticas y médicas se emplean PFC con pesos moleculares relativamente grandes (p. ej., $C_{10}F_{18}$) con el fin de explotar sus capacidades para transportar el oxígeno en los tejidos vivos (May, 2006). Las aplicaciones cosméticas incluyen las cremas contra las arrugas y se estima que consumen cantidades bastante pequeñas. Las aplicaciones médicas actuales y potenciales incluyen el almacenamiento de tejido pancreático para trasplantes (que emplean el «método de las dos capas»), la cirugía ocular (reparación de desprendimientos de la retina), la neumonectomía (terapia y diagnóstico pulmonar), el uso como agente de contraste en los exámenes de ultrasonido e IRM, en la expansión del plasma sanguíneo, en la cicatrización de heridas y en el tratamiento de enfermedades del oído medio. Todas las aplicaciones médicas, excepto las dos primeras, involucran sólo pequeñas cantidades y/o están en etapa de investigación. El almacenamiento de tejido pancreático es una aplicación reducida, pero en crecimiento. Las emisiones provenientes de los usos médicos son inciertas pero se estima que son pequeñas.

Para todas estas aplicaciones se sospecha que los PFC se emiten hacia la atmósfera dentro del año de la compra. Por lo tanto, las emisiones de estas fuentes pueden estimarse utilizando la Ecuación 8.23 para las emisiones rápidas.

Cualquier otro uso del SF_6 y de los PFC

Entre las demás aplicaciones de los SF_6 y los PFC que no han sido abordadas explícitamente más arriba se incluyen el uso como trazadores (en la detección de fugas, el seguimiento de masas de aire de interior y exterior y la recuperación del petróleo⁶) y el uso del SF_6 en la producción de cables ópticos (para dopar con flúor las fibras de vidrio⁷). A menudo, los gases o líquidos se emiten dentro del año de la compra. En este caso, al calcular las emisiones de SF_6 y PFC procedentes de estas aplicaciones con emisiones «rápidas», es una *buena práctica* usar la fórmula siguiente:

⁶ D. Vlachogiannis *et al.* (2005). En este artículo se señala que cierta fracción de los PFC y del SF_6 inyectados se destruye durante la quema de los combustibles, pero que la magnitud de esta fracción no ha sido esclarecida (en comparación con la fracción de la sustancia química inyectada que escapa antes de la combustión).

⁷ Para mayor información sobre esta aplicación, véase Schwarz (2005).

ECUACIÓN 8.23
EMISIONES RÁPIDAS

$$\text{Emisiones del año } t = (0,5 \cdot \text{Cantidad vendida en año } t) + (0,5 \cdot \text{Cantidad vendida en año } t - 1)$$

Esta ecuación es similar a la ecuación para las emisiones rápidas de las aplicaciones de los sustitutos de la SAO (p. ej., aerosoles y solventes) abordadas en el Capítulo 7 de este volumen. La ecuación cubre más de un año pues se supone que tanto las ventas como las emisiones son continuas a lo largo del año; esto es, las sustancias químicas vendidas a mediados del año $t-1$ no son emitidas por completo hasta mediados del año t .

8.3.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Para las categorías de fuente «Otros» del SF₆ y los PFC que contribuyen sustancialmente a las emisiones de SF₆ y PFC, se alienta a los países a desarrollar factores de emisión específicos del país, basados en sondeos ocasionales de los subconjuntos representativos de las fuentes. Es una *buena práctica* documentar claramente tales factores de emisión. Los factores de emisión por defecto se proporcionan más arriba para los AWACS, los aceleradores, las aplicaciones con emisiones rápidas y las aplicaciones adiabáticas, incluidas las ventanas.

8.3.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los datos de la actividad para estas subcategorías de fuentes deben ser coherentes con los datos utilizados para calcular las emisiones de SF₆ procedentes de otras categorías de fuente (p. ej., los equipos eléctricos), para garantizar que la estimación sea completa y que no haya cálculos dobles. Es probable que las organizaciones de servicios al cliente para los fabricantes y distribuidores de los aceleradores lineales médicos posean información sobre las existencias de equipos, las importaciones y exportaciones y las cantidades de SF₆ utilizadas para llenar y recargar los equipos. La orientación relacionada con las fuentes posibles de datos de la actividad para otras fuentes se proporcionan bajo el método correspondiente a cada categoría de fuente.

8.3.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Los datos sobre importaciones, exportaciones y consumo obtenidos de los productores y distribuidores nacionales de SF₆ y PFC, por aplicación, son suficientes, siempre y cuando: (i) todos los productores y distribuidores de SF₆ y PFC hayan sido identificados; (ii) los consumidores nacionales compren SF₆ y PFC sólo a proveedores nacionales; y (iii) las importaciones y exportaciones contenidas en los productos (p. ej., los artículos deportivos) sean insignificantes. Es una *buena práctica* verificar regularmente si aparecen distribuidores adicionales para garantizar que los usuarios finales no importen el gas directamente (a granel) y que los productos que contienen SF₆ y PFC identificados no sean importados en cantidades sustanciales.

Como alternativa, si no se dispone de datos «de arriba hacia abajo» sobre el consumo de sustancias químicas, los países pueden utilizar la información sobre la cantidad de aceleradores, de AWACS, de ventanas, etc., en uso en el país y aplicar los factores de emisión que se han proporcionado con los métodos correspondientes a cada categoría de fuente.

8.3.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Para efectuar las estimaciones de los años de base se pueden necesitar datos de algunos años anteriores; un año para las emisiones rápidas y más años para las aplicaciones con emisiones retardadas. Es una *buena práctica* calcular las emisiones empleando el mismo método para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método más riguroso aplicable a todos los años de la serie temporal, la *buena práctica* consiste en recalculer las carencias según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

8.3.3 Evaluación de incertidumbre

Si el sondeo de las ventas nacionales por aplicación realizadas por los productores y distribuidores nacionales de gas es completo, la exactitud de los datos sobre el consumo anual aparente será elevada. La incertidumbre en las estimaciones de las emisiones será igualmente pequeñas si todos los usos corresponden a emisiones rápidas. En el caso de las aplicaciones con emisiones retardadas, las incertidumbres son:

- Tiempos de retardo por defecto para las aplicaciones de la propiedad adiabática: 3±1 año;

- Valores por defecto para las ventanas insonorizadas: $50 \pm 10\%$ para las emisiones del llenado y $1 \pm 0,5\%$ para las emisiones debidas a las fugas y/o la ruptura.

Si no se dispone de datos sobre el consumo de gas, las incertidumbres asociadas a las cantidades y a los usos de los aceleradores, los AWACS, etc., resultan importantes.

- Para los aceleradores, la carga total de SF₆ y el índice de fugas determinan las emisiones y las incertidumbres asociadas
- Para el uso del SF₆ en los AWACS, la cantidad de despegues por avión tiene un impacto significativo en las emisiones y en la incertidumbre.

8.3.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

8.3.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, así como procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Más abajo se bosquejan algunos procedimientos adicionales específicos para otras fuentes de SF₆:

Comparación de las estimaciones de emisiones obtenidas mediante los diferentes enfoques

Los compiladores del inventario deben comparar el total nacional de emisiones potenciales de SF₆ y PFC (menos la cantidad atribuida a las categorías de fuentes analizadas en los capítulos 3.10, 4, 6 y 8.2) con las emisiones estimadas de SF₆ y PFC procedentes de los otros usos. Estas emisiones nacionales potenciales ajustadas pueden utilizarse como un límite superior para las emisiones.

Verificación de los datos de la actividad

Los compiladores del inventario deben comparar los datos de la actividad presentados por los diferentes productores y distribuidores y ajustarlos según los tamaños o las capacidades relativas de las compañías, para identificar los valores erráticos. Todos los valores erráticos deben someterse a una investigación para determinar si las diferencias pueden explicarse o si hay errores en las actividades declaradas.

Comparación de los índices de emisión con los de otros países

Los compiladores del inventario deben comparar las emisiones procedentes de los otros usos finales de SF₆ y PFC incluidas en el inventario nacional con la información presentada por otros países similares. Para cada fuente, las emisiones *per cápita* o por unidad de PIB deben compararse con los correspondientes índices de emisión de otros países. Si las cifras nacionales parecen ser relativamente muy altas o muy bajas, se debe procurar una justificación.

8.3.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

Para garantizar la transparencia es una *buena práctica* declarar tanto las emisiones reales como las potenciales procedentes de la categoría de fuente «otros usos» por separado de las otras emisiones de SF₆ y PFC. Además, el aporte de información sobre las aplicaciones específicas que se incluyen en esta categoría de fuente resulta útil para comparar (las estimaciones de) las prácticas nacionales con las de otros países, en el ámbito regional o a escala mundial. Más aún, deben documentarse los métodos aplicados y las referencias. Para las subcategorías de fuente con emisiones retardadas, se deben declarar las emisiones anuales, los tiempos de retardo y los factores de emisión por tipo de subcategoría.

8.4 N₂O PROCEDENTE DEL USO DE PRODUCTOS

8.4.1 Introducción

Las emisiones por evaporación de óxido nitroso (N₂O) pueden producirse a partir de varios tipos de uso de los productos, incluidos:

- Las aplicaciones médicas (uso de anestésicos, analgésicos y usos veterinarios);
- Los usos como propulsor en los productos de aerosol, principalmente en la industria alimenticia (crema batida en latas a presión, etc.);
- Los agentes oxidantes y decapantes utilizados en la fabricación de semiconductores;
- Los agentes oxidantes utilizados, junto al acetileno, en la espectrometría de absorción atómica;
- La producción de azida sódica, que se usa para inflar las bolsas de aire de los automóviles (*airbag*);
- El uso como oxidante de combustible en las carreras automovilísticas; y
- Los agentes oxidantes en los sopletes empleados en joyería y otros usos.

En general, es probable que las aplicaciones médicas y el uso como propulsor en los productos de aerosol sean las fuentes más importantes de esta lista. Es una *buena práctica* estimar y declarar las emisiones de N₂O provenientes de estas fuentes. Si hay datos disponibles, se alienta a los compiladores del inventario a estimar y declarar las emisiones de N₂O provenientes de todas las demás fuentes también.

APLICACIONES MÉDICAS

Uso del N₂O como anestésico

El N₂O para usos anestésicos se suministra en cilindros de acero que contienen por lo menos un 98 por ciento de N₂O. Se usa el N₂O en anestias por dos razones: a) como anestésico y analgésico y b) como gas portador de anestésicos de hidrocarburos fluorados volátiles tales como isoflurano, sevoflurano y desflurano. El efecto anestésico del N₂O se adiciona al de los agentes de hidrocarburos fluorados.

No todos los anestésicos requieren el uso del N₂O y su uso está contraindicado en pocas situaciones médicas. El gas de transporte durante la anestesia puede ser, ya sea el N₂O y el oxígeno, o una mezcla de aire y oxígeno, en cuyo caso se evita el N₂O.

Los agentes anestésicos inhalados se administran cada vez más a través de sistemas de respiración asistida que recirculan el aliento exhalado por el paciente a través de un recipiente con dióxido de carbono absorbente antes de dirigir los gases de nuevo hacia el paciente. Utilizando este método, el flujo del gas de transporte puede reducirse considerablemente después de los primeros minutos de la anestesia, cuando la captación del paciente es alta. Esta técnica se conoce como anestesia de flujo bajo. La anestesia de flujo bajo tiene la ventaja de reducir las emisiones así como el costo. Algunos anestésicos pueden evitar por completo, tanto el N₂O como los agentes de hidrocarburos fluorados, al emplear una técnica en la que una droga anestésica se instila continuamente dentro de una vena durante todo el procedimiento quirúrgico. Esta técnica se conoce como anestesia intravenosa total.

Uso del N₂O como analgésico

El N₂O inhalado se utiliza para aliviar el dolor en ciertas situaciones. Por ejemplo, en el Reino Unido se suministra en cilindros de acero que contienen 50 por ciento de N₂O premezclado con 50 por ciento de oxígeno, como óxido nitroso premezclado y mezclas de oxígeno. El óxido nitroso premezclado y las mezclas de oxígeno se emplean para procurar alivio a los dolores del parto y durante los procedimientos dolorosos de corta duración, p. ej., los cambios de ropa a los pacientes quemados. El óxido nitroso premezclado y las mezclas de oxígeno no se usan en los países de climas muy fríos, pues la mezcla puede separarse si los cilindros se almacenan a temperaturas inferiores a -6 grados centígrados, con el riesgo consiguiente de administrar a los pacientes óxido nitroso puro sin oxígeno.

Uso veterinario del N₂O

El N₂O se utiliza también durante la anestesia de animales. Los métodos de administración son similares a los que se utilizan en humanos.

USOS COMO PROPULSOR EN LOS PRODUCTOS DE AEROSOL, PRINCIPALMENTE EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

También se utiliza el N₂O como propulsor en los productos de aerosol, principalmente en la industria alimenticia. El uso típico es para la preparación de crema batida, donde se usan cartuchos llenos con N₂O para convertir la crema en espuma.

8.4.2 Cuestiones metodológicas

8.4.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Es una *buena práctica* estimar las emisiones de N₂O a partir de datos sobre las cantidades de N₂O suministrado que se obtienen de los fabricantes y distribuidores de productos de N₂O, según la Ecuación 8.24, más abajo. Habrá un tiempo de retardo entre la fabricación, la entrega y el uso, pero es probable que sea pequeño en el caso de las aplicaciones médicas, pues los hospitales reciben normalmente entregas frecuentes para evitar el mantenimiento de grandes almacenes. Por lo tanto, es razonable suponer que los productos de N₂O suministrados serán usados dentro del plazo de un año. En el caso del uso como propulsor en productos de aerosol no existen datos fiables que prueben la existencia de un retardo significativo entre la fabricación, la entrega y el uso. Siendo así, se considera práctico suponer que los suministros de productos de N₂O serán usados en el año. La ecuación 8.24 cubre más de un año pues se supone que tanto el suministro como el uso son continuos a lo largo del año; esto es, el N₂O suministrado a mitad del año t-1 no se usa ni se emite en su totalidad hasta mediados del año t.

No se han podido definir niveles diferentes para esta categoría de fuente, pues no existe otro método fiable de estimación. Por ejemplo, en el caso de las aplicaciones médicas, podrían considerarse las estimaciones calculadas a partir de la cantidad de anestésicos administrados, del número de camas quirúrgicas o de las horas de anestesia, pero es probable que estos métodos resulten inexactos. (Véase la Sección 8.4.2.3, Elección de los datos de la actividad.)

ECUACIÓN 8.24
EMISIONES DE N₂O PROCEDENTES DEL USO DE OTROS PRODUCTOS

$$E_{N_2O}(t) = \sum_i \{ [0.5 \cdot A_i(t) + 0.5 \cdot A_i(t-1)] \cdot EF_i \}$$

Donde:

$E_{N_2O}(t)$ = emisiones de N₂O en el año t, toneladas

$A_i(t)$ = cantidad total de N₂O suministrada en el año t en la aplicación de tipo i, toneladas

$A_i(t-1)$ = cantidad total de N₂O suministrada en el año t-1 en la aplicación de tipo i, toneladas

EF_i = factor de emisión para la aplicación de tipo i, fracción

8.4.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

APLICACIONES MÉDICAS

Se supone que el N₂O administrado no se modifica químicamente en el cuerpo y que la totalidad es devuelta a la atmósfera. Es razonable suponer un factor de emisión de 1,0.

USOS COMO PROPULSOR EN LOS PRODUCTOS DE AEROSOL, PRINCIPALMENTE EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

Para el N₂O empleado como propulsor en los productos alimenticios bajo presión y en aerosoles, ninguna fracción del N₂O reacciona durante el proceso y todo el N₂O se emite hacia la atmósfera, lo cual resulta en un factor de emisión de 1,0 para esta fuente.

OTROS

Para otros tipos de uso de los productos, puede que no resulte apropiado suponer un factor de emisión de 1,0. En el caso de que los compiladores del inventario estimen y declaren emisiones de N₂O provenientes de usos diferentes a los de las aplicaciones médicas y del uso como propulsor en los productos de aerosol, se los alienta a derivar factores de emisión razonables para esa fuente a partir de la bibliografía o de las mediciones.

8.4.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

APLICACIONES MÉDICAS

La cantidad total de N₂O suministrado por tipo de aplicación debe obtenerse de los fabricantes y distribuidores de productos de N₂O. Como alternativa, para las aplicaciones médicas, las cantidades de N₂O utilizado pueden obtenerse de los departamentos de farmacia de los hospitales individuales, los cuales generalmente mantienen registros sobre la cantidad y capacidad de los cilindros de óxido nitroso comprados por año.

La duración de las residencias hospitalarias posteriores a las intervenciones quirúrgicas varía considerablemente, desde menos de un día hasta varios días o semanas. Es probable que las estimaciones de la cantidad de anestésicos administrados que se calculen a partir de la ocupación de las camas quirúrgicas resulten inexactas.

Debido a que el N₂O se utiliza sólo en una fracción de los anestésicos, su uso no puede estimarse de manera fiable a partir de la cantidad de anestésicos administrados.

El flujo de N₂O (L/minuto) proporcionado por el aparato anestésico puede modificarse por el anestesista durante la intervención quirúrgica típicamente entre cero y 6 L/minuto. Debido a esta variabilidad considerable, es probable que las estimaciones de consumo basadas en la duración de la anestesia resulten inexactas.

La proporción de anestésicos en los cuales se usa el N₂O varía entre los países y entre los anestesistas de un país determinado. Parece ser que en los años recientes ha habido una disminución general en la proporción de anestésicos que incluyen el N₂O, pero los datos son escasos.

USOS COMO PROPULSOR EN LOS PRODUCTOS DE AEROSOL, PRINCIPALMENTE EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

La cantidad total de N₂O suministrado por tipo de aplicación debe obtenerse de los fabricantes y distribuidores de productos de N₂O.

8.4.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Los datos sobre importaciones, exportaciones y consumo obtenidos de los productores y distribuidores nacionales de N₂O, por aplicación, son suficientes siempre y cuando: (i) todos los productores y distribuidores de N₂O hayan sido identificados; (ii) los consumidores nacionales compren el N₂O sólo a proveedores nacionales; y (iii) las importaciones y exportaciones contenidas en los productos sean insignificantes. Es una *buena práctica* verificar regularmente si hay distribuidores adicionales para garantizar que los usuarios finales no importen el N₂O directamente (a granel) y que los productos identificados que contienen N₂O no sean importados en cantidades importantes.

8.4.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Es una *buena práctica* calcular las emisiones de N₂O empleando el mismo método para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método más riguroso aplicable a todos los años de la serie temporal, la *buena práctica* consiste en recalcular las carencias según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

8.4.3 Evaluación de incertidumbre

8.4.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

En la bibliografía se supone ampliamente que el N₂O inhalado por los pacientes durante la anestesia no es metabolizado. En los pulmones, el N₂O es captado en forma continua como N₂O disuelto en la sangre. La fracción que no captada se exhala en la respiración siguiente. Al principio, la captación del paciente es alta y luego decae progresivamente con el tiempo, en forma casi exponencial. Es razonable suponer que todo el N₂O administrado finalmente se devuelve a la atmósfera y que el factor de emisión es 1,0. Es una hipótesis pragmática porque aún no existen datos fiables. Es probable que cualquier error en el factor de emisión sea muy pequeño en comparación con otras incertidumbres.

También, en el caso del uso como propulsor en los productos de aerosol, es probable que el N₂O no reaccione durante el proceso. Por lo tanto, que el factor de emisión sea igual a 1,0 es una hipótesis pragmática y es probable que cualquier error en este factor sea en exceso pequeño en comparación con otras incertidumbres.

En el caso de que los compiladores del inventario estimen y declaren emisiones de N₂O provenientes de usos diferentes al de las aplicaciones médicas y como propulsor en los productos de aerosol, puede ser necesario considerar cuidadosamente las incertidumbres del factor de emisión.

8.4.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Las incertidumbres en la cantidad de N₂O suministrado por tipo de aplicación obtenida de los fabricantes y distribuidores de productos de N₂O pueden variar mucho de un país a otro. Si es posible obtener las estimaciones de las incertidumbres de los fabricantes y distribuidores, se las debe utilizar. Caso contrario, las incertidumbres en los datos de la actividad deben ser estimadas mediante el dictamen de expertos.

8.4.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6. No es práctico incluir toda la documentación en el informe del inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

Para lograr la transparencia, el aporte de información sobre las aplicaciones específicas incluidas en esta categoría de fuente resulta útil para comparar (las estimaciones de) las prácticas nacionales con las de otros países, en el ámbito regional o a escala mundial. Más aún, deben documentarse los métodos aplicados y las referencias.

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad y aplicar los procedimientos de garantía de calidad esbozados en el Volumen 1, Capítulo 6. Se alienta a los compiladores del inventario a usar los métodos de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Más abajo se bosquejan algunos procedimientos adicionales específicos:

Verificación de los datos de la actividad

Los compiladores del inventario deben comparar los datos de la actividad presentados por los diferentes productores y distribuidores de N₂O, y ajustarlos según los tamaños o las capacidades relativos de las compañías para identificar los valores erráticos. Todos los valores erráticos deben someterse a investigación para determinar si las diferencias pueden explicarse o si hay errores en las actividades declaradas.

Comparación de las emisiones con las de otros países

Los compiladores del inventario deben comparar las emisiones de N₂O procedentes de los tipos de uso de los productos incluidas en el inventario nacional con la información presentada por otros países similares. Para cada fuente, las emisiones *per cápita* o por unidad de PIB deben compararse con las de otros países. Si las cifras nacionales parecen relativamente muy altas o muy bajas, se debe procurar una justificación.

Referencias

SECCIONES 8.1 A 8.3

- Aoyama, T. (2004). Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA), "The Situation of Reduction in SF₆ Emissions from Gas-insulated Electrical Equipment In Japan" Paper and presentation delivered to the Conference on SF₆ and the Environment, Scottsdale, Arizona, December 1-3, 2004.
- AREVA (2005). AREVA, World energy experts, Activity and Sustainable Development Report 2004. (Registered office: rue Le Peletier – 75009 Paris – France, <http://www.aveva.com/>), published in July 2005.
- Boeing (2005). "E-3 AWACS in Service Worldwide", March 2005. Boeing Integrated Defense Systems, P.O. Box 516, St. Louis, MO 63166, (Available from http://www.boeing.com/defense-space/ic/awacs/docs/E-3AWACS_overview.pdf)
- Burton, C. S. (2006). "Uses and Air Emissions of Liquid PFC Heat Transfer Fluids from the Electronics Sector," Report prepared for Scott C. Bartos, U.S. Environmental Protection Agency.
- Ecofys (2005). Reductions of SF₆ Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe, Final Report to CAPIEL, S, Wartmann and J. Harnisch, June 28, 2005
- FEPC and JEMA (2004). Federation of Electric Power Companies (FEPC) and the Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA), "Japanese Emission Factors." (Personal communication from Mr. Kiyoshi Saitoh of Japan Electrical Manufacturers Association (JEMA) to Mr. Kiyoto Tanabe, IPCC Technical Support Unit, November, 2004.)
- Harris, D., and Hildebrandt, J. (2003). "Spray Cooling Electrical and Electronic Equipment," *COTS Journal*, November 2003.
- CIGRE (2005). International Council on Large Electric Systems (CIGRE) Publication No.276: Guide for the Preparation of customized "Practical SF₆ Handling Instructions", Task Force B3.02.01, August 2005.
- IEC (1996). International Electro-technical Commission (IEC) Standard 60694: "Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards," Second edition, 1996-05. Geneva, Switzerland.
- Koch, E.C. (2004). "Special Materials in Pyrotechnics: III. Application of Lithium and its Compounds in Energetic Systems;" *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Volume 29, Issue 2, Pages 67 - 80, 2004
- May, G. (2006). F₂ Chemicals Limited. Personal communication with Deborah Ottinger Schaefer, January 23, 2006.
- Maruyama, S. and Meguro, M. (2000). "SF₆ Gas Emission Reduction From Gas-Insulated Electrical Equipment in Japan.", Paper presented at the Conference on SF₆ and the Environment: Emission Reduction Strategies in San Diego, USA (November 2000).
- NIST (1997). Gases for Electrical Insulation and Arc Interruption: Possible Present and Future Alternatives to Pure SF₆; by L. G. Christophorou, J. K. Olthoff, D. S. Green; NIST Technical Note 1425, National Institute of Standards, November 1997.
- Schwarz, W. and Leisewitz, A. (1996). Current and future emissions of fluorinated compounds with global warming effect in Germany (in German). Report UBA-FB 1060 1074/01, Umweltbundesamt, Berlin.
- Schwarz, W. and Leisewitz, A. (1999). Emissions and reduction potentials of HFCs, PFCs, and SF₆ in Germany. Report UBA-FB 298 41 256, Umweltbundesamt, Berlin.
- Schwarz, W. (2005). Emissions, Activity Data, and Emission Factors of Fluorinated Greenhouse Gases (F-Gases) in Germany 1995-2002. Research Report 201 41 261/01, UBA-FB 000811/e, Umweltbundesamt, Berlin.
- Schwarz, W. (2006). "The German Monitoring System for SF₆ Emissions from Equipment for Electricity Transmission and Distribution."
- Smythe, K. (2004). 'Trends in SF₆ Sales and End-Use Applications: 1961-2003.' International Conference on SF₆ and the Environment: Emission Reduction Technologies, December 1-3, 2004, Scottsdale, AZ.
- U.S. EPA (2004). U.S. Inventory of Greenhouse Gases and Sinks, 1990-2002. U.S. Environmental Protection Agency, April, 2004.
- Vlachogiannis, D., *et al.* (2005). Assessment of the impact of SF₆ and PFCs reservoir tracers on global warming, the AEOLOS study, Non-CO₂ Greenhouse Gases (NCGG-4), coordinated by A. van Amstel, Rotterdam, p. 389-396.

SECCIÓN 8.4

Austria [Umweltbundesamt] (2004), AUSTRIA'S NATIONAL INVENTORY REPORT 2004, Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change

Beatty PCW, Kay B and Healy TEJ (1984), *Measurement of the rates of nitrous oxide uptake and nitrogen excretion in man*. British Journal of Anaesthesia; 56: 223-232.

Environment Canada (2004), Canada's Greenhouse Gas Inventory 1990-2002

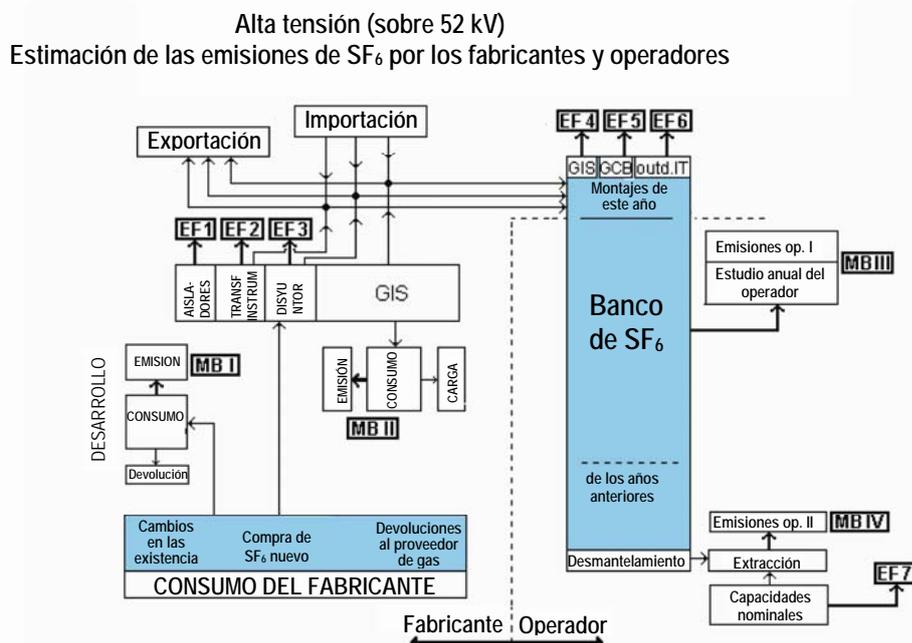
Jordan M. (1996), Pharmacology in the Practice of Anaesthesia p 43. Arold, London. Edited by Kaufman L and Tabener PV.

U.S. EPA (2004). U.S. Inventory of Greenhouse Gases and Sinks, 1990-2002. U.S. Environmental Protection Agency, April, 2004.

Anexo 8A Ejemplos de sistemas de inventarios nacionales de SF₆ de Nivel 3

Las Figuras 8A.1 y 8A.2 ilustran el enfoque Híbrido de Nivel 3 tal como se aplica actualmente en Alemania para los equipos de presión cerrados (alta tensión) y de presión sellados (tensiones intermedias) (Schwarz, 2006). En el diagrama, «MB» indica los procesos o las etapas del ciclo de vida útil para los cuales se emplea el enfoque por equilibrio de masas, mientras que «EF» indica los procesos y las etapas del ciclo de vida útil para los cuales se emplean factores de emisión. Por ejemplo, en la fabricación, el enfoque por equilibrio de masas se utiliza para estimar las emisiones provenientes del llenado de los conmutadores y subestaciones con aislación de gas, mientras que los factores de emisión se utilizan para estimar las emisiones procedentes del llenado de los aisladores pasamuros, transformadores para instrumentos y disyuntores. En Alemania, estos últimos procesos poseen índices de emisión del 1 por ciento o menores, lo que dificulta la medición de las emisiones utilizando los métodos de equilibrio de masas. Nótese que este diagrama está concebido sólo como ejemplo: al implementar los enfoques de Nivel 3, se alienta a los países a escoger los enfoques y los factores de emisión apropiados para sus circunstancias nacionales.

Figura 8A.1 Ejemplo del enfoque de Nivel 3: Alemania, equipos de alta tensión

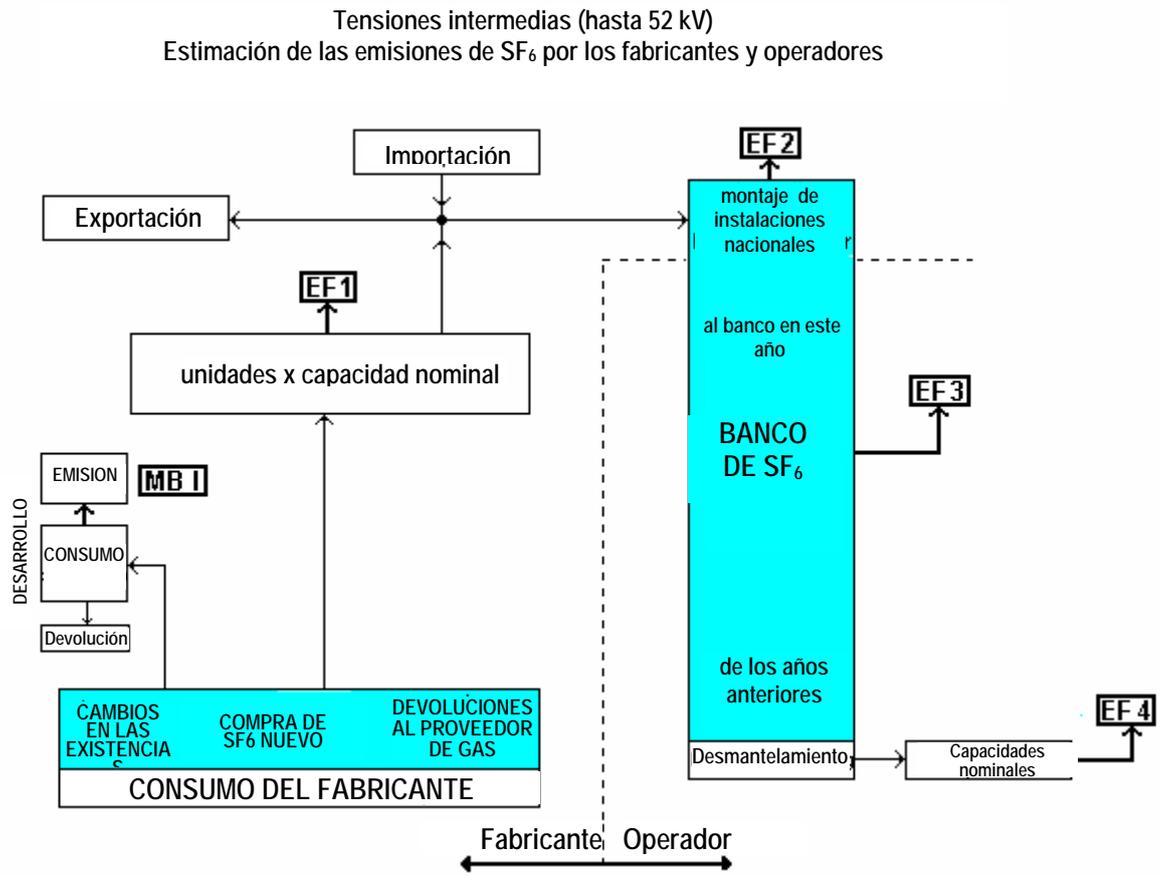


LEYENDA PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES EN ALTAS TENSIONES		
ENFOQUE POR EQUILIBRIO DE MASAS		
SÍMBOLO	Ecuación	
MB I	Emisiones del desarrollo = Consumo para el desarrollo menos la devolución del departamento de desarrollo	
MB II	Emisiones de la carga de los GIS = Consumo para la carga menos la carga (capacidades nominales); se aplica también a las líneas	
MB III	Emisiones operativas I = Conservación del nivel de llenado controlado anualmente por los operadores de los equipos	
MB IV	Emisiones operativas II = Capacidad nominal de los equipos desmantelados menos el gas recuperado de estos equipos	
ENFOQUE POR FACTOR DE EMISIÓN (EF)		
SÍMBOLO	Tipo de factor de emisión (EF)	Multiplicado por
EF 1	EF del llenado de fábrica de los aisladores pasamuros*	NC** de los aisladores pasamuros llenados en la fábrica
EF 2	EF del llenado de fábrica de los transformadores externos para	NC de los IT llenados en la fábrica
EF 3	EF del llenado de fábrica de los disyuntores con aislamiento de gas	NC de los GCB llenados en la fábrica
EF 4	EF del montaje en el sitio de los GIS y GIL	NC de los GIS y GIL llenados en el sitio
EF 5	EF del montaje en el sitio de los GCB	NC de los GCB llenados en el sitio
EF 6	EF del montaje en el sitio de los IT externos	NC de los IT externos llenados en el sitio
EF 7	EF de la eliminación	NC de los equipos desmantelados

* Los aisladores pasamuros son considerados parte integrante de los GIS en el caso de la instalación en el sitio

** NC = Capacidad nominal total de los equipos que participan en un proceso determinado.

Figura 8A.2 Ejemplo del enfoque de Nivel 3: Alemania, equipos de tensión intermedia



LEYENDA PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES EN TENSIONES INTERMEDIAS		
Enfoque por equilibrio de masas		
SÍMBOLO	Ecuación	
MB I	Emisiones del desarrollo = Consumo para el desarrollo menos devolución del departamento de desarrollo*	
Enfoque por factor de emisión (EF)		
SÍMBOLO	Tipo de factor de emisión (EF)	Multiplicado por
EF 1	EF del llenado de fábrica	NC** del llenado de fábrica
EF 2	EF del montaje en el sitio	NC*** del llenado en el sitio
EF 3	EF de la operación	NC de la operación de los equipos (banco total del año actual y de los años anteriores)
EF 4	EF de la eliminación	NC de los equipos desmantelados

* Este enfoque por equilibrio de masas se aplica también a la fabricación de los Transformadores para instrumentos con resinas moldeadas (IT)

** NC = Capacidad nominal total de los equipos que participan en un proceso determinado.

*** En los países donde los equipos de alta tensión han sido llenados ya en la fábrica las emisiones del montaje en el sitio son insignificantes

ANNEX 1

WORKSHEETS

Contents

Annex 1	Worksheets	
2A	Mineral Industry	A1.4
2A1	Cement Production	A1.4
2A2	Lime Production	A1.4
2A3	Glass Production	A1.5
2A4	Other Process Uses of Carbonates	A1.5
2B	Chemical Industry	A1.6
2B1	Ammonia Production	A1.6
2B2	Nitric Acid Production	A1.6
2B3	Adipic Acid Production	A1.7
2B4	Caprolactam, Glyoxal and Glyoxylic Acid Production	A1.7
2B5	Carbide Production	A1.7
2B6	Titanium Dioxide Production	A1.9
2B7	Soda Ash Production	A1.10
2B8	Petrochemical and Carbon Black Production	A1.10
2B9	Fluorochemical Production	A1.15
2C	Metal Industry	A1.17
2C1	Iron and Steel Production	A1.17
2C2	Ferroalloys Production	A1.18
2C3	Aluminium Production	A1.19
2C4	Magnesium Production	A1.20
2C5	Lead Production	A1.21
2C6	Zinc Production	A1.21
2D	Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use	A1.22
2D1	Lubricant Use	A1.22
2D2	Paraffin Wax Use	A1.22
2E	Electronics Industry	A1.23
2E1	Integrated Circuit or Semiconductor	A1.23
2E2	TFT Flat Panel Display	A1.24
2E3	Photovoltaics	A1.24
2E4	Heat Transfer Fluid	A1.25
2F	Product Uses as Substitutes for Ozone Depleting Substances	A1.26
2F1	Refrigeration and Air Conditioning	A1.26
2F2	Foam Blowing Agents	A1.26
2F3	Fire Protection	A1.27
2F4	Aerosols	A1.27

2F5	Solvents	A1.28
2F6	Other Applications	A1.28
2G	Other Product Manufacture and Use.....	A1.29
2G1	Electrical Equipment	A1.29
2G2	SF ₆ and PFCs from Other Product Uses.....	A1.31
2G3	N ₂ O from Product Uses	A1.34

The worksheets in this annex are designed to enable users to perform at least the Tier 1 (and in some cases Tier 2) emission estimation for each category under IPPU Sector.

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Mineral Industry - Cement Production		
Category Code	2A1		
Sheet	1 of 2		
Individual Type of Cement Produced ¹⁾	A	B	C
	Mass of Individual Type of Cement Produced	Clinker Fraction in Cement	Mass of Clinker in the Individual Type of Cement Produced
	(tonne)	(fraction)	(tonne)
			$C = A * B$
Total			
1) Insert additional rows if more than two types of cement are produced.			

Sector	Industrial Processes and Product Use				
Category	Mineral Industry - Cement Production				
Category Code	2A1				
Sheet	2 of 2				
D	E	F	G	H	I
Imports for Consumption of Clinker	Exports of Clinker	Mass of Clinker Produced in the Country	Emission Factor for the Clinker in the Particular Cement	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
(tonne)	(tonne)	(tonne)	(tonne CO ₂ / tonne clinker)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
		$F = C - D + E$		$H = F * G$	$I = H/10^3$

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Mineral Industry - Lime Production			
Category Code	2A2			
Sheet	1 of 1			
Type of Lime Produced ^{1), 2)}	A	B	C	D
	Mass of Lime Produced	Emission Factor for Lime Production	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne)	(tonne CO ₂ / tonne lime)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Total				
1) Insert additional rows if more than two types of lime are produced.				
2) When country-specific information on lime production by type is not available, apply the default emission factor to national level lime production data. (See Equation 2.8 in Chapter 2 of this volume.)				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Mineral Industry - Glass Production			
Category Code	2A3			
Sheet	1 of 1			
A	B	C	D	E
Total Glass Production	Emission Factor for Glass Production	Average Annual Cullet Ratio	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
(tonne)	(tonne CO ₂ /tonne glass)	(fraction)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$D = A * B * (1 - C)$	$E = D/10^3$

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates ¹⁾			
Category Code	2A4			
Sheet	1 of 1			
Type of Use	A	B	C	D
	Mass of Carbonate Consumed	Emission Factor for Carbonate Consumption ^{3), 4)}	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne)	(tonne CO ₂ /tonne carbonate)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Ceramics				
Other Uses of Soda Ash				
Non Metallurgical Magnesia Production				
Other ²⁾				

- 1) Limestone and other carbonate materials also are consumed in a variety of other industries not covered in Chapter 2 of Volume 3. Examples include carbonates used as fluxes and slagging agents in metals smelting and refining (e.g., iron and steel production and base metals such as copper), and as inputs to the chemical industry (e.g., fertiliser). The methods outlined here for estimating emissions from the use of carbonates are applicable to these other industries as well. It is *good practice* to allocate emissions from the use of limestone, dolomite and other carbonates to the industrial source category where they are emitted (e.g., iron and steel production).
- 2) This row should contain estimates of emissions that do not fit into any of the major sources presented in Table 2.7 in Chapter 2 of Volume 3. Insert additional rows, if necessary.
- 3) For the Tier 1 method, it is consistent with *good practice* for inventory compilers to assume that 85 percent of carbonates consumed are limestone and 15 percent of carbonates consumed are dolomite. For the Tier 1 method for soda ash use (Other Uses of Soda Ash), this default fraction (0.85:0.15) should not be applied, and the default value for sodium carbonate should be used. (For default emission factors for various carbonates, see Table 2.1 in Chapter 2 of Volume 3.
- 4) It is suggested that inventory compilers ensure that data on carbonates reflect pure carbonates and not carbonate rock. If data are only available on carbonate rock, a default purity of 95% can be assumed. For clays a default carbonate content of 10% can be assumed, if no other information is available.

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Ammonia Production			
Category Code	2B1			
Sheet	1 of 2			
A	B	C	D	E
Amount of Ammonia Produced	Fuel Requirement for Ammonia Production	Carbon Content of Fuel	Carbon Oxidation Factor of Fuel	CO ₂ Generated
(tonne)	(GJ/ tonne ammonia produced)	(kg C/GJ)	(fraction)	(kg CO ₂)
				$E = (A * B * C * D) * 44/12$

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Chemical Industry - Ammonia Production		
Category Code	2B1		
Sheet	2 of 2		
F	G	H	I
Amount of Urea Produced	CO ₂ Recovered for Urea Production	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
(kg)	(kg CO ₂)	(kg CO ₂)	(Gg CO ₂)
	$G = F * 44/60$	$H = E - G$	$I = H/10^6$

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Chemical Industry - Nitric Acid Production		
Category Code	2B2		
Sheet	1 of 1		
A	B	C	D
Amount of Nitric Acid Production	Emission Factor	N ₂ O Emissions	N ₂ O Emissions
(tonne)	(kg N ₂ O/tonne nitric acid produced)	(kg)	(Gg)
		$C = A * B$	$D = C/10^6$

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Chemical Industry - Adipic Acid Production		
Category Code	2B3		
Sheet	1 of 1		
A	B	C	D
Amount of Adipic Acid Production	Emission Factor	N ₂ O Emissions	N ₂ O Emissions
(tonne)	(kg N ₂ O/tonne adipic acid produced)	(kg)	(Gg)
		$C = A * B$	$D = C/10^6$

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Caprolactam, Glyoxal and Glyoxylic Acid Production			
Category Code	2B4			
Sheet	1 of 1			
Chemical	A	B	C	D
	Amount of Chemical Production	Emission Factor	N ₂ O Emissions	N ₂ O Emissions
	(tonne)	(kg N ₂ O/tonne chemical produced)	(kg)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^6$
Caprolactam				
Glyoxal				
Glyoxylic Acid				
Total				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Carbide Production			
Category Code	2B5			
Sheet	1 of 6 CO ₂ Emissions (calculation based on raw material used)			
Type of Carbide Produced/	A	B	C	D
	Raw Material (Petroleum Coke) Consumption	Emission Factor ¹⁾	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne)	(tonne CO ₂ /tonne raw material used)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Silicon Carbide (SiC)				
Calcium Carbide (CaC ₂)				
<p>1) The emission factor needs to be adjusted to account for the carbon contained in the product. See Section 3.6.2.1 of Volume 3.</p> <p>Note: Inventory compilers should use either this sheet (1 of 6) or the next sheet (2 of 6), not both.</p>				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Carbide Production			
Category Code	2B5			
Sheet	2 of 6 CO₂ Emissions (calculation based on carbide produced)			
	A	B	C	D
Type of Carbide Produced	Carbide Produced	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne)	(tonne CO ₂ /tonne carbide produced)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Silicon Carbide (SiC)				
Calcium Carbide (CaC ₂)				
Note: Inventory compilers should use either this sheet (2 of 6) or the previous sheet (1 of 6), not both.				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Carbide Production			
Category Code	2B5			
Sheet	3 of 6 CO₂ Emissions from Use of CaC₂ in Acetylene Production			
	A	B	C	D
Calcium Carbide Used in Acetylene Production		Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne)	(tonne CO ₂ /tonne carbide used)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Carbide Production			
Category Code	2B5			
Sheet	4 of 6 CO₂ Emission (Total)			
	A	B	C	D
CO ₂ Emissions from Silicon Carbide (SiC) Production	CO ₂ Emissions from Calcium Carbide (CaC ₂) Production	CO ₂ Emissions from Use of CaC ₂ in Acetylene Production	Total CO ₂ Emissions	
(Gg CO ₂)	(Gg CO ₂)	(Gg CO ₂)	(Gg CO ₂)	
From D in Sheet 1 of 6 or D in Sheet 2 of 6	From D in Sheet 1 of 6 or D in Sheet 2 of 6	From D in Sheet 3 of 6	$D = A + B + C$	

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Chemical Industry - Carbide Production		
Category Code	2B5		
Sheet	5 of 6 CH₄ Emissions from Silicon Carbide (SiC) Production (calculation based on raw material used)		
A	B	C	D
Raw Material (Petroleum Coke) Consumption	Emission Factor	CH ₄ Emissions	CH ₄ Emissions
(tonne)	(kg CH ₄ /tonne raw material used)	(kg)	(Gg)
		$C = A * B$	$D = C/10^6$
Note: Inventory compilers should use either this sheet (5 of 6) or the next sheet (6 of 6), not both.			

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Chemical Industry - Carbide Production		
Category Code	2B5		
Sheet	6 of 6 CH₄ Emissions from Silicon Carbide (SiC) Production (calculation based on carbide produced)		
A	B	C	D
Carbide Produced	Emission Factor	CH ₄ Emissions	CH ₄ Emissions
(tonne)	(kg CH ₄ /tonne carbide produced)	(kg)	(Gg)
		$C = A * B$	$D = C/10^6$
Note: Inventory compilers should use either this sheet (6 of 6) or the previous sheet (5 of 6), not both.			

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Titanium Dioxide Production			
Category Code	2B6			
Sheet	1 of 1			
Type of production	A	B	C	D
	Amount of Production	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne)	(tonne CO ₂ /tonne produced)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Titanium Slag				
Synthetic Rutile				
Rutile TiO ₂				
Total				

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Chemical Industry - Soda Ash Production		
Category Code	2B7		
Sheet	1 of 2 Natural Soda Ash (calculation based on trona used)		
A	B	C	D
Amount of Trona Utilised	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
(tonne)	(tonne CO ₂ /tonne trona utilized)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
		$C = A * B$	$D = C/10^3$
Note: Inventory compilers should use either this sheet (1 of 2) or the next sheet (2 of 2), not both.			

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Chemical Industry -Soda Ash Production		
Category Code	2B7		
Sheet	2 of 2 Natural Soda Ash (calculation based on production)		
A	B	C	D
Amount of Natural Soda Ash Produced	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
(tonne)	(tonne CO ₂ /tonne natural soda ash produced)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
		$C = A * B$	$D = C/10^3$
Note: Inventory compilers should use either this sheet (2 of 2) or the previous sheet (1 of 2), not both.			

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production			
Category Code	2B8			
Sheet	1 of 12 CO ₂ Emissions from Methanol Production			
Type of Process/Type of Feedstock ^{1, 2)}	A	B	C	D
	Amount of Methanol Produced	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne)	(tonne CO ₂ /tonne methanol produced)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Type of Process = [	] (please specify)			
Feedstock = [
(Please specify)				
Type of Process = [	] (please specify)			
Feedstock = [
(Please specify)				
Total				
1) For details of process types and feedstock types, see Table 3.12 in Chapter 3 of Volume 3. For the default process type and the default feedstock, see Table 3.11 in Chapter 3 of Volume 3.				
2) Insert additional rows if necessary.				

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production		
Category Code	2B8		
Sheet	2 of 12 CH₄ Emissions from Methanol Production		
A	B	C	D
Amount of Methanol Produced	Emission Factor	CH ₄ Emission	CH ₄ Emission
(tonne)	(kg CH ₄ /tonne methanol produced)	(kg)	(Gg)
		$C = A * B$	$D = C/10^6$

Sector	Industrial Processes and Product Use				
Category	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production				
Category Code	2B8				
Sheet	3 of 12 CO₂ Emissions from Ethylene Production				
Type of Feedstock ^{1), 2)} (please specify)	A	B	C	D	E
	Amount of Ethylene Produced	Emission Factor	Geographic Adjustment Factor ³⁾	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne)	(tonne CO ₂ /tonne ethylene produced)	(%)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
				$D = A * B * C/100$	$E = D/10^3$
Total					
<p>1) For details of feedstock types, see Table 3.14 in Chapter 3 of Volume 3. For the default feedstock, see Table 3.11 in Chapter 3 of Volume 3.</p> <p>2) Insert additional rows if necessary.</p> <p>3) For geographic adjustment factors, see Table 3.15 in Volume 3.</p>					

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production			
Category Code	2B8			
Sheet	4 of 12 CH₄ Emissions from Ethylene Production			
Type of Feedstock ^{1), 2)} (please specify)	A	B	C	D
	Amount of Ethylene Produced	Emission Factor	CH ₄ Emissions	CH ₄ Emissions
	(tonne)	(kg CH ₄ /tonne ethylene produced)	(kg)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^6$
Total				
<p>1) For details of feedstock types, see Table 3.14 in Chapter 3 of Volume 3. For the default feedstock, see Table 3.11 in Chapter 3 of Volume 3.</p> <p>2) Insert additional rows if necessary.</p>				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production			
Category Code	2B8			
Sheet	5 of 12 CO ₂ Emissions from Ethylene Dichloride/Vinyl Chloride Monomer Production			
Type of Process ^{1), 2)} (please specify)	A	B	C	D
	Amount of Ethylene Dichloride (EDC) or Vinyl Chloride Monomer (VCM) Produced ³⁾	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne EDC produced) or (tonne VCM produced)	(tonne CO ₂ /tonne EDC produced) or (tonne CO ₂ /tonne VCM produced)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Total				
<p>1) For details of process types, see Table 3.17 in Chapter 3 of Volume 3. For the default process type, see Table 3.11 in Chapter 3 of Volume 3.</p> <p>2) Insert additional rows if necessary.</p> <p>3) Inventory compilers should use either EDC production or VCM production (not both) as activity data.</p>				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production			
Category Code	2B8			
Sheet	6 of 12 CH ₄ Emissions from Ethylene Dichloride / Vinyl Chloride Monomer Production			
Type of Process ^{1), 2)} (please specify)	A	B	C	D
	Amount of Ethylene Dichloride (EDC) or Vinyl Chloride Monomer (VCM) Produced ³⁾	Emission Factor	CH ₄ Emission	CH ₄ Emission
	(tonne EDC produced) or (tonne VCM produced)	(kg CH ₄ /tonne EDC produced) or (kg CH ₄ /tonne VCM produced)	(kg)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^6$
Total				
<p>1) For details of process types, see Tables 3.11 and 3.19 in Chapter 3 of Volume 3. For the default process type, see Table 3.11 in Chapter 3 of Volume 3.</p> <p>2) Insert additional rows if necessary.</p> <p>3) Inventory compilers should use either EDC production or VCM production (not both) as activity data.</p>				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production			
Category Code	2B8			
Sheet	7 of 12 CO₂ Emissions from Ethylene Oxide Production			
Type of Process ^{1), 2)} (please specify)	A	B	C	D
	Amount of Ethylene Oxide Produced	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne ethylene oxide produced)	(tonne CO ₂ /tonne ethylene oxide produced)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Total				
1) For details of process types, see Table 3.20 in Chapter 3 of Volume 3. For the default process type, see Table 3.11 in Chapter 3 of Volume 3.				
2) Insert additional rows if necessary.				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production			
Category Code	2B8			
Sheet	8 of 12 CH₄ Emissions from Ethylene Oxide Production			
Type of Process ^{1), 2)} (please specify)	A	B	C	D
	Amount of Ethylene Oxide Produced	Emission Factor	CH ₄ Emissions	CH ₄ Emissions
	(tonne ethylene oxide produced)	(kg CH ₄ /tonne ethylene oxide produced)	(kg)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^6$
Total				
1) For details of process types, see Table 3.21 in Chapter 3 of Volume 3. For the default process type, see Table 3.11 in Chapter 3 of Volume 3.				
2) Insert additional rows if necessary.				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production			
Category Code	2B8			
Sheet	9 of 12 CO₂ Emissions from Acrylonitrile Production			
Type of Process ^{1), 2)} (please specify)	A	B	C	D
	Amount of Acrylonitrile Produced	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne acrylonitrile produced)	(tonne CO ₂ /tonne acrylonitrile produced)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Total				
1) For details of process types, see Table 3.22 in Chapter 3 of Volume 3. For the default process type, see Table 3.11 in Chapter 3 of Volume 3.				
2) Insert additional rows if necessary.				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production			
Category Code	2B8			
Sheet	10 of 12 CH₄ Emissions from Acrylonitrile Production			
Type of Process ^{1), 2)} (please specify)	A	B	C	D
	Amount of Acrylonitrile Produced	Emission Factor	CH ₄ Emissions	CH ₄ Emissions
	(tonne acrylonitrile produced)	(kg CH ₄ /tonne acrylonitrile produced)	(kg)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^6$
Total				
1) For details of process types, see Table 3.22 in Chapter 3 of Volume 3. For the default process type, see Table 3.11 in Chapter 3 of Volume 3.				
2) Insert additional rows if necessary.				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production			
Category Code	2B8			
Sheet	11 of 12 CO ₂ Emissions from Carbon Black Production			
Type of Process ^{1), 2)} (please specify)	A	B	C	D
	Amount of Carbon Black Produced	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne carbon black produced)	(tonne CO ₂ /tonne carbon black produced)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Total				
1) For details of process types, see Table 3.23 in Chapter 3 of Volume 3. For the default process type, see Table 3.11 in Chapter 3 of Volume 3.				
2) Insert additional rows if necessary.				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production			
Category Code	2B8			
Sheet	12 of 12 CH ₄ Emissions from Carbon Black Production			
Type of Process ^{1), 2)} (please specify)	A	B	C	D
	Amount of Carbon Black Produced	Emission Factor	CH ₄ Emissions	CH ₄ Emissions
	(tonne carbon black produced)	(kg CH ₄ /tonne carbon black produced)	(kg)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^6$
Total				
1) For details of process types, see Table 3.24 in Chapter 3 of Volume 3. For the default process type, see Table 3.11 in Chapter 3 of Volume 3.				
2) Insert additional rows if necessary.				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Fluorochemical Production			
Category Code	2B9			
Sheet	1 of 3 HFC-23 Emissions from HCFC-22 Production			
A	B	C	D	
Amount of HCFC-22 Produced	Emission Factor	HFC-23 Emissions	HFC-23 Emissions	
(kg)	(kg HFC-23/kg HCFC-22 produced)	(kg)	(Gg)	
		$C = A * B$	$D = C/10^6$	

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Fluorochemical Production			
Category Code	2B9			
Sheet	2 of 3 By-product Emissions from Production of Other Fluorinated Compounds			
Fluorinated Compound Emitted as By-product and Principal Fluorinated Compound Produced (Please specify such as "xxx from yyy production") ¹⁾	A	B	C	D
	Amount of Principal Fluorinated Compound Produced	Byproduct Emission Factor ²⁾	Emissions	Emissions
	(kg)	(kg by-product gas emitted/kg F-compound produced)	(kg)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^6$
<p>1) Insert additional rows if necessary.</p> <p>2) For sources that are not <i>key categories</i>, fugitive and by-product emissions are considered the same and those emissions are calculated using the next sheet (3 of 3).</p>				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Chemical Industry - Fluorochemical Production			
Category Code	2B9			
Sheet	3 of 3 Fugitive Emissions from Production of Other Fluorinated Compounds			
Fluorinated Compound Produced (Please specify) ¹⁾	A	B	C	D
	Amount of Fluorinated Compound Produced	Fugitive Emission Factor ²⁾	Emissions	Emissions
	(kg)	(kg fugitive gas emitted/kg F-compound produced)	(kg)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^6$
<p>1) Insert additional rows if necessary.</p> <p>2) For sources that are not <i>key categories</i>, fugitive and by-product emissions are considered the same. For Tier 1, in the absence of abatement measures, a default emission factor of 0.5 percent of production, not counting losses in transport and transfer of materials, is suggested for HFCs and PFCs,</p>				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Metal Industry - Iron and Steel Production			
Category Code	2C1			
Sheet	1 of 2 CO₂ Emissions			
Type of Steelmaking Method, etc	A	B	C	D
	Amount of Steel or Iron Production	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne crude steel produced, pig iron, DRI, sinter or pellet)	(tonne CO ₂ /tonne production)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Basic Oxygen Furnace				
Electric Arc Furnace				
Open Hearth Furnace				
Pig Iron Production (not converted into steel)				
Direct Reduced Iron (DRI) Production				
Sinter Production				
Pellet Production				
TOTAL				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Metal Industry - Iron and Steel Production			
Category Code	2C1			
Sheet	2 of 2 CH₄ Emissions			
Type of Production	A	B	C	D
	Amount of Production	Emission Factor	CH ₄ Emissions	CH ₄ Emissions
	(tonne sinter, DRI or pig iron)	(kg CH ₄ /tonne production)	(kg)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^6$
Sinter Production				
Direct Reduced Iron (DRI) Production				
Pig Iron Production				
TOTAL				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Metal Industry - Ferroalloys Production			
Category Code	2C2			
Sheet	1 of 2 CO₂ Emissions			
Type of Ferroalloy ^{1), 2)} (please specify)	A	B	C	D
	Amount of Ferroalloy Production	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne ferroalloy produced)	(tonne CO ₂ /tonne ferroalloy produced)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Total				
1) For details of ferroalloy types, see Table 4.5 in Chapter 4 of Volume 3.				
2) Insert additional rows if necessary.				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Metal Industry - Ferroalloys Production			
Category Code	2C2			
Sheet	2 of 2 CH₄ Emissions			
Type of Ferroalloy ^{1), 2)} (please specify)	A	B	C	D
	Amount of Ferroalloy Production	Emission Factor	CH ₄ Emissions	CH ₄ Emissions
	(tonne ferroalloy produced)	(kg CH ₄ /tonne ferroalloy produced)	(kg)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^6$
Total				
1) For details of ferroalloy types, see Table 4.7 in Chapter 4 of Volume 3.				
2) Insert additional rows if necessary.				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Metal Industry - Aluminium Production			
Category Code	2C3			
Sheet	1 of 3 CO ₂ Emissions			
Type of Technology	A	B	C	D
	Amount of Aluminium Production	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne aluminium produced)	(tonne CO ₂ /tonne aluminium produced)	(tonne)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Prebake				
Soderberg				
Total				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Metal Industry - Aluminium Production			
Category Code	2C3			
Sheet	2 of 3 CF ₄ Emissions			
Type of Technology	A	B	C	D
	Amount of Aluminium Production	Emission Factor	CF ₄ Emissions	CF ₄ Emissions
	(tonne aluminium produced)	(kg CF ₄ /tonne aluminium produced)	(kg)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^6$
CWPB				
SWPB				
VSS				
HSS				
Total				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Metal Industry - Aluminium Production			
Category Code	2C3			
Sheet	3 of 3 C ₂ F ₆ Emissions			
Type of Technology	A	B	C	D
	Amount of Aluminium Production	Emission Factor	C ₂ F ₆ Emissions	C ₂ F ₆ Emissions
	(tonne aluminium produced)	(kg C ₂ F ₆ /tonne aluminium produced)	(kg)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^6$
CWPB				
SWPB				
VSS				
HSS				
Total				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Metal Industry - Magnesium Production			
Category Code	2C4			
Sheet	1 of 2 CO₂ Emissions from Primary Production			
Raw Material Source	A	B	C	D
	Amount of Primary Magnesium Production	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
	(tonne primary magnesium produced)	(tonne CO ₂ /tonne primary magnesium produced)	(tonne)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Dolomite				
Magnesite				
Total				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Metal Industry - Magnesium Production			
Category Code	2C4			
Sheet	2 of 2 SF₆ Emissions from Magnesium Casting Processes			
A	B	C	D	
Amount of Magnesium Casting	Emission Factor	SF ₆ Emissions	SF ₆ Emissions	
(tonne magnesium casting)	(kg SF ₆ /tonne magnesium casting)	(kg)	(Gg)	
		$C = A * B$	$D = C/10^6$	
<p>Note: As regards HFC 134-a, FK 5-1-12 and their decomposition products (e.g., PFCs), no Tier 1 method is provided because the industrial experience in using these compounds (HFC 134-a and FK 5-1-12) for magnesium protection purposes is yet very limited. However, if the greenhouse gas emission from the use of magnesium cover gases is a national <i>key category</i>, it is <i>good practice</i>, for inventory preparation purposes, to collect direct measurements of these greenhouse gas emissions.</p>				

Sector	Metal Industry			
Category	Metal Industry - Lead Production			
Category Code	2C5			
Sheet	1 of 1			
	A	B	C	D
Source and Furnace Type ^{1), 2)}	Amount of Lead Production	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
(please specify)	(tonne lead produced)	(tonne CO ₂ /tonne lead produced)	(tonne)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Total				
1) For details of source and furnace types, see Table 4.21 in Chapter 4 of Volume 3.				
2) Insert additional rows if necessary.				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Metal Industry - Zinc Production			
Category Code	2C6			
Sheet	1 of 1			
	A	B	C	D
Type of Process ^{1), 2)}	Amount of Zinc Production	Emission Factor	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
(please specify)	(tonne zinc produced)	(tonne CO ₂ /tonne zinc produced)	(tonne)	(Gg)
			$C = A * B$	$D = C/10^3$
Total				
1) For details of process types, see Table 4.24 in Chapter 4 of Volume 3.				
2) Insert additional rows if necessary.				

Sector		Industrial Processes and Product Use		
Category		Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use - Lubricant Use		
Category Code		2D1		
Sheet		1 of 1		
A	B	C	D	E
Amount of Lubricant Consumed	Lubricant Carbon Content	Fraction Oxidized During Use (ODU factor)	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
(TJ)	(tonne-C/TJ)	(fraction)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$D = A * B * C * \frac{44}{12}$	$E = D/10^3$

Sector		Industrial Processes and Product Use		
Category		Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use – Paraffin Wax Use		
Category Code		2D2		
Sheet		1 of 1		
A	B	C	D	E
Amount of Paraffin Waxes Consumed	Paraffin Waxes Carbon Content	Fraction Oxidized During Use (ODU factor)	CO ₂ Emissions	CO ₂ Emissions
(TJ)	(tonne-C/TJ)	(fraction)	(tonne CO ₂)	(Gg CO ₂)
			$D = A * B * C * \frac{44}{12}$	$E = D/10^3$

Sector	Industrial Processes and Product Use				
Category	Electronics Industry - Integrated Circuit or Semiconductor				
Category Code	2E1				
Sheet	1 of 1				
Fluorinated Compounds (FCs)	A	B	C	D	E
	Fraction of Annual Plant Production Capacity Utilization ¹⁾	Annual Manufacturing Design Capacity ¹⁾	Tier 1 Default FC Emission Factor ²⁾	CO ₂ Equivalent Conversion Factor ³⁾	FC Emissions ⁴⁾
	(fraction)	(Gm ² of silicon processed)	(kg FC/m ² of silicon processed)	(tonne CO ₂ /tonne FC)	(Gg CO ₂ equivalent)
					$E = A * B * C * D * 10^3$
CF ₄			0.9		
C ₂ F ₆			1		
CHF ₃			0.04		
C ₃ F ₈			0.05		
NF ₃			0.04		
SF ₆			0.2		
Total					
<p>1) The same value should be entered in each row.</p> <p>2) In using Tier 1, inventory compilers should not modify, in any way, the set of the FCs assumed here. Inventory compilers should not combine emissions estimated using Tier 1 method with emissions estimated using the Tier 2 or 3 methods. Neither may inventory compilers change the values of any factors in this column.</p> <p>3) Typically, global warming potential (100 year time horizon) identified in the IPCC Assessment Report can be used. These factors should be the same as those used for other sectors/categories to ensure that they are all internally consistent in the inventory.</p> <p>4) The Tier 1 method, unlike the Tier 3 or 2 methods, is designed to give an aggregated estimate of FC emissions although its methodology appears to produce gas-specific emissions.</p>					

Sector	Industrial Processes and Product Use				
Category	Electronics Industry - TFT Flat Panel Display				
Category Code	2E2				
Sheet	1 of 1				
Fluorinated Compounds (FCs)	A	B	C	D	E
	Fraction of Annual Plant Production Capacity Utilization ¹⁾	Annual Manufacturing Design Capacity ¹⁾	Tier 1 Default FC Emission Factor ²⁾	CO ₂ Equivalent Conversion Factor ³⁾	FC Emissions ⁴⁾
	(fraction)	(Gm ² of glass processed)	(g FC/m ² of glass processed)	(tonne CO ₂ /tonne FC)	(Gg CO ₂ equivalent)
					$E = A * B * C * D$
CF ₄			0.5		
NF ₃			0.9		
SF ₆			4		
Total					
<p>1) The same value should be entered in each row.</p> <p>2) In using Tier 1, inventory compilers should not modify, in any way, the set of the FCs assumed here. Inventory compilers should not combine emissions estimated using Tier 1 method with emissions estimated using the Tier 2 or 3 methods. Neither may inventory compilers change the values of any factors in this column.</p> <p>3) Typically, global warming potential (100 year time horizon) identified in the IPCC Assessment Report can be used. These factors should be the same as those used for other sectors/categories to ensure that they are all internally consistent in the inventory.</p> <p>4) The Tier 1 method, unlike the Tier 3 or 2 methods, is designed to give an aggregated estimate of FC emissions although its methodology appears to produce gas-specific emissions.</p>					

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Electronics Industry - Photovoltaics		
Category Code	2E3		
Sheet	1 of 2		
Fluorinated Compounds (FCs)	A	B	C
	Fraction of Annual Plant Production Capacity Utilization ¹⁾	Annual Manufacturing Design Capacity ¹⁾	Fraction of PV manufacture that uses fluorinated compounds
	(fraction)	(Mm ² of substrate processed)	(fraction)
CF ₄			
C ₂ F ₆			
Total			
<p>1) The same value should be entered in each row.</p>			

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Electronics Industry - Photovoltaics		
Category Code	2E3		
Sheet	2 of 2		
Fluorinated Compounds (FCs)	D	E	F
	Tier 1 Default FC Emission Factor ¹⁾	CO ₂ Equivalent Conversion Factor ²⁾	FC Emissions ³⁾
	(g FC/m ² of substrate processed)	(tonne CO ₂ /tonne FC)	(Gg CO ₂ equivalent)
			$F = A * B * C * D * E / 10^3$
CF ₄	5		
C ₂ F ₆	0.2		
Total			
<p>1) In using Tier 1, inventory compilers should not modify, in any way, the set of the FCs assumed here. Inventory compilers should not combine emissions estimated using Tier 1 method with emissions estimated using the Tier 2 or 3 methods. Neither may inventory compilers change the values of any factors in this column.</p> <p>2) Typically, global warming potential (100 year time horizon) identified in the IPCC Assessment Report can be used. These factors should be the same as those used for other sectors/categories to ensure that they are all internally consistent in the inventory.</p> <p>3) The Tier 1 method, unlike the Tier 3 or 2 methods, is designed to give an aggregated estimate of FC emissions although its methodology appears to produce gas-specific emissions.</p>			

Sector	Industrial Processes and Product Use				
Category	Electronics Industry - Heat Transfer Fluid				
Category Code	2E4				
Sheet	1 of 1				
Fluorinated Compounds (FCs)	A	B	C	D	E
	Fraction of Annual Plant Production Capacity Utilization	Annual Manufacturing Design Capacity	Tier 1 Default FC Emission Factor ¹⁾	CO ₂ Equivalent Conversion Factor ²⁾	FC Emissions ³⁾
	(fraction)	(Gm ² of silicon consumed)	(kg C ₆ F ₁₄ /m ² of silicon consumed)	(tonne CO ₂ /tonne C ₆ F ₁₄)	(Gg CO ₂ equivalent)
					$E = A * B * C * D * 10^3$
C ₆ F ₁₄			0.3		
<p>1) Tier 1 default emission factor assumes heat transfer fluids have the same GWP and C₆F₁₄ represents a suitable proxy. Inventory compilers should not change this value in using Tier 1 method.</p> <p>2) Typically, global warming potential (100 year time horizon) identified in the IPCC Assessment Report can be used. These factors should be the same as those used for other sectors/categories to ensure that they are all internally consistent in the inventory.</p> <p>3) The Tier 1 method, unlike the Tier 3 or 2 methods, is designed to give an aggregated estimate of FC emissions although its methodology appears to produce gas-specific emissions.</p>					

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Product Uses as Substitutes for Ozone Depleting Substances – Refrigeration and Air Conditioning			
Category Code	2F1			
Sheet	1 of 1			
	A	B	C	D
HFCs/PFCs (please specify)	Bank in Inventory Year ¹⁾	Average Emission Factor from installed base	Agent in Retired Equipment in Inventory Year	Emissions in Inventory Year
	(tonne)	(%)	(tonne)	(tonne)
				$D = A * B/100 + C$
HFC-23				
...				
<p>1) In reality, it is necessary in the refrigeration and air conditioning application to deal with the development and tracking of banks. This means that an historical time series of country-specific or globally or regionally derived activity data is required dating back to the introduction of any new HFC or PFC. In order to do this, inventory compilers will need to implement spreadsheet calculations. A typical example, which is workable and inventory compilers could use, can be found in the <i>2006 Guidelines</i> CDROM. (V3_An1_Calculation_example_for_2F1.xls)</p>				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Product Uses as Substitutes for Ozone Depleting Substances – Foam Blowing Agents			
Category Code	2F2			
Sheet	1 of 1			
	A	B	C	D
HFCs/PFCs (please specify)	Original Charge in Each of Previous Years ¹⁾	Annual Losses Emission Factor	First Year Loss in Inventory Year ²⁾	Emissions in Inventory Year
	(tonne)	(%)	(tonne)	(tonne)
				$D = A * B/100 + C$
HFC-245fa				
...				
<p>1) In reality, it is necessary in the foam application to deal with the historical time series of country-specific or globally or regionally derived activity data dating back to the introduction of any new HFC or PFC. In order to do this, inventory compilers will need to implement spreadsheet calculations. A typical example, which is workable and inventory compilers could use, can be found in the <i>2006 Guidelines</i> CDROM. (V3_An1_Calculation_example_for_2F2.xls)</p> <p>2) For details on the first year loss emission factor, see Table 7.5 in Chapter 7 of this volume. In the case of open-cell foams, the first year loss emission factor is typically 100 %.</p>				

Sector	Industrial Processes and Product Use				
Category	Product Uses as Substitutes for Ozone Depleting Substances – Fire Protection				
Category Code	2F3				
Sheet	1 of 1				
HFCs/PFCs (please specify)	A	B	C	D	E
	Bank in Inventory Year ¹⁾	Average Emission Factor from installed base	Agent in Retired Equipment in Inventory Year	Rate of Recovery of the Agent in Retired Equipment	Emissions in Inventory Year
	(tonne)	(%)	(tonne)	(%)	(tonne)
					$E = A * B/100 + C * (1 - D/100)$
HFC-23					
...					
<p>1) In reality, it is necessary in the fire protection application to deal with the development and tracking of banks. This means that an historical time series of country-specific or globally or regionally derived activity data is required dating back to the introduction of any new HFC or PFC. In order to do this, inventory compilers will need to implement spreadsheet calculations. A typical example, which is workable and inventory compilers could use, can be found in the <i>2006 Guidelines</i> CDROM. (V3_An1_Calculation_example_for_2F3.xls)</p>					

Sector	Industrial Processes and Product Use				
Category	Product Uses as Substitutes for Ozone Depleting Substances - Aerosols				
Category Code	2F4				
Sheet	1 of 1				
A		B	C	D	E
Quantity of HFCs/PFCs Contained in Aerosol Products Sold in Inventory Year		Quantity of HFCs/PFCs Contained in Aerosol Products Sold in Prior Year	Emission Factor (Loss of Current Year's Use)	Emissions of HFCs/PFCs from Aerosol Products	Emissions of HFCs/PFCs from Aerosol Products
Chemical ^{1), 2)}	(tonne)	(tonne)	(fraction)	(tonne)	(Gg)
(please specify)				$D = A * C + B * (1 - C)$	$E = D/10^3$
<p>1) For chemicals that are used for this application, see Table 7.1 in Chapter 7 of Volume 3.</p> <p>2) Insert additional rows if necessary.</p>					

Sector		Industrial Processes and Product Use			
Category		Product Uses as Substitutes for Ozone Depleting Substances - Solvents			
Category Code		2F5			
Sheet		1 of 1			
A		B	C	D	E
Quantity of Solvents (HFCs/PFCs) Sold in Inventory Year		Quantity of Solvents (HFCs/PFCs) Sold in Prior Year	Emission Factor (Loss of Current Year's Use)	Emission of HFCs/PFCs from Solvents	Emission of HFCs/PFCs from Solvents
Chemical ^{1), 2)}	(tonne)	(tonne)	(fraction)	(tonne)	(Gg)
(please specify)				$D = A * C + B * (1 - C)$	$E = D/10^3$
<p>1) For chemicals that are used for this application, see Table 7.1 in Chapter 7 of Volume 3.</p> <p>2) Insert additional rows if necessary.</p>					

Sector		Industrial Processes and Product Use			
Category		Product Uses as Substitutes for Ozone Depleting Substances - Other Applications			
Category Code		2F6			
Sheet		1 of 1			
A		B	C	D	E
Quantity of HFCs/PFCs Sold in Inventory Year		Quantity of HFCs/PFCs Sold in Prior Year	Emission Factor (Loss of Current Year's Use)	Emission of HFCs/PFCs from Other Applications	Emission of HFCs/PFCs from Other Applications
Chemical ^{1), 2)}	(tonne)	(tonne)	(fraction)	(tonne)	(Gg)
(please specify)				$D = A * C + B * (1 - C)$	$E = D/10^3$
<p>1) For chemicals that are used for this application, see Table 7.1 in Chapter 7 of Volume 3.</p> <p>2) Insert additional rows if necessary.</p>					

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Other Product Manufacture and Use - Electrical Equipment		
Category Code	2G1		
Sheet	1 of 5 Manufacturing Emissions of SF ₆ ¹⁾		
Type of Equipment	A	B	C
	Total SF ₆ Consumption by Equipment Manufacturers (tonne SF ₆)	Manufacturing Emission Factor ²⁾ (fraction)	Manufacturing Emissions (tonne SF ₆)
			C = A * B
Sealed-Pressure			
Closed-Pressure			
Gas-Insulated Transformers			
Total			
<p>1) Emissions of PFCs can be estimated by the same calculation procedure.</p> <p>2) Default emission factors depend on region for which emissions are being estimated. See Tables 8.2 through 8.4 in Chapter 8 of this volume.</p>			

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Other Product Manufacture and Use - Electrical Equipment		
Category Code	2G1		
Sheet	2 of 5 Equipment Installation Emissions of SF ₆ ¹⁾		
Type of Equipment	D	E	F
	Total Nameplate Capacity of New Equipment Filled on Site (not at the factory) (tonne SF ₆)	Installation Emission Factor ²⁾ (fraction)	Equipment Installation Emissions (tonne SF ₆)
			F = D * E
Sealed-Pressure			
Closed-Pressure			
Gas-Insulated Transformers			
Total			
<p>1) Emissions of PFCs can be estimated by the same calculation procedure.</p> <p>2) Default emission factors depend on region for which emissions are being estimated. See Tables 8.2 through 8.4 in Chapter 8 of this volume.</p>			

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Other Product Manufacture and Use - Electrical Equipment		
Category Code	2G1		
Sheet	3 of 5 Equipment Use Emissions of SF₆¹⁾		
Type of Equipment	G	H	I
	Total Nameplate Capacity of Installed Equipment	Use Emission Factor ^{2), 3)}	Equipment Use Emissions
	(tonne SF ₆)	(fraction)	(tonne SF ₆)
			$I = G * H$
Sealed-Pressure			
Closed-Pressure			
Gas-Insulated Transformers			
Total			
<p>1) Emissions of PFCs can be estimated by the same calculation procedure.</p> <p>2) Default emission factors depend on region for which emissions are being estimated. See Tables 8.2 through 8.4 in Chapter 8 of this volume.</p> <p>3) The 'use emission factor' includes emissions due to leakage, servicing, maintenance, and equipment failures.</p>			

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Other Product Manufacture and Use - Electrical Equipment		
Category Code	2G1		
Sheet	4 of 5 Equipment Disposal Emissions of SF₆¹⁾		
Type of Equipment	J	K	L
	Total Nameplate Capacity of Retiring Equipment	Fraction of SF ₆ Remaining at Retirement ²⁾	Equipment Disposal Emissions
	(tonne SF ₆)	(fraction)	(tonne SF ₆)
			$L = J * K$
Sealed-Pressure			
Closed-Pressure			
Gas-Insulated Transformers			
Total			
<p>1) Emissions of PFCs can be estimated by the same calculation procedure.</p> <p>2) Default emission factors depend on region for which emissions are being estimated. See Tables 8.2 through 8.4 in Chapter 8 of this volume.</p>			

Sector	Industrial Processes and Product Use	
Category	Other Product Manufacture and Use - Electrical Equipment	
Category Code	2G1	
Sheet	5 of 5 Total Emissions of SF₆¹⁾	
Type of Equipment	M	N
	Total Emissions (tonne SF ₆)	Total Emissions (Gg SF ₆)
	$M = C + F + I + L$	$N = M/10^3$
Sealed-Pressure		
Closed-Pressure		
Gas-Insulated Transformers		
Total		
1) Emissions of PFCs can be estimated by the same calculation procedure.		

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Other Product Manufacture and Use - SF₆ and PFCs from Other Product Uses		
Category Code	2G2		
Sheet	1 of 7 SF₆ Emissions from Military Applications (AWACS)		
A	B	C	D
National AWACS Fleet	Emission Factor	SF ₆ Emissions	SF ₆ Emissions
(number of AWACS)	(kg SF ₆ /plane)	(kg)	(Gg)
		$C = A * B$	$D = C/10^6$

Sector	Industrial Processes and Product Use				
Category	Other Product Manufacture and Use - SF₆ and PFCs from Other Product Uses				
Category Code	2G2				
Sheet	2 of 7 SF₆ Emissions from University and Research Particle Accelerators				
A	B	C	D	E	F
Number of University and Research Particle Accelerators in the Country	SF ₆ Use Factor	SF ₆ Charge Factor	SF ₆ Emission Factor	SF ₆ Emissions	SF ₆ Emissions
(number)	(fraction)	(kg SF ₆ /particle accelerator)	(fraction)	(kg)	(Gg)
				$E = A * B * C * D$	$F = E/10^6$

Sector	Industrial Processes and Product Use				
Category	Other Product Manufacture and Use - SF ₆ and PFCs from Other Product Uses				
Category Code	2G2				
Sheet	3 of 7 SF ₆ Emissions from Industrial and Medical Particle Accelerators				
Process Description	A	B	C	D	E
	Number of Particle Accelerators that use SF ₆ by Process Description in the Country	SF ₆ Charge Factor	SF ₆ Emission Factor	SF ₆ Emissions	SF ₆ Emissions
	(number)	(kg SF ₆ /particle accelerator)	(fraction)	(kg)	(Gg)
			$D = A * B * C$	$E = D/10^6$	
Industrial Accelerator (High Voltage: 0.3-23 MV)					
Industrial Accelerator (Low Voltage: <0.3 MV)					
Medical					
Total					

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Other Product Manufacture and Use - SF ₆ and PFCs from Other Product Uses		
Category Code	2G2		
Sheet	4 of 7 SF ₆ Emissions ¹⁾ from Adiabatic Uses		
Type of Applications ^{2), 3)} (please specify)	A	B	C
	Sales into application in year t-3	SF ₆ Emissions in year t	SF ₆ Emissions in year t
	(tonne)	(tonne)	(Gg)
		$B = A$	$C = B/10^3$
Total			
<p>1) Emissions of PFCs can be estimated by the same calculation procedure.</p> <p>2) For example, car tires, sport shoe soles and tennis balls.</p> <p>3) Insert additional rows, if necessary.</p>			

Sector	Industrial Processes and Product Use				
Category	Other Product Manufacture and Use - SF₆ and PFCs from Other Product Uses				
Category Code	2G2				
Sheet	5 of 7 SF₆ Emissions from Sound-Proof Glazing				
A	B	C	D	E	F
SF ₆ Purchased to Fill Windows Assembled in Inventory Year	Assembly Emission Factor	Assembly Emissions	Capacity of Existing Windows in Inventory Year	Leakage Emission Factor	Leakage Emissions
(tonne SF ₆)	(fraction)	(tonne SF ₆)	(tonne SF ₆)	(fraction)	(tonne SF ₆)
		$C = A * B$			$F = D * E$

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Other Product Manufacture and Use - SF₆ and PFCs from Other Product Uses			
Category Code	2G2			
Sheet	6 of 7 SF₆ Emissions from Sound-Proof Glazing			
G	H	I	J	K
Amount Left in Windows at End of Lifetime (Disposed of in Inventory Year)	Recovery Factor ¹⁾	Disposal Emissions	Total Emissions	Total Emissions
(tonne SF ₆)	(fraction)	(tonne SF ₆)	(tonne SF ₆)	(Gg SF ₆)
		$I = G * (1 - H)$	$J = C + F + I$	$K = J/10^3$
1) Recovery factor is assumed to be zero unless country-specific information is available.				

Sector	Industrial Processes and Product Use			
Category	Other Product Manufacture and Use - SF₆ and PFCs from Other Product Uses			
Category Code	2G2			
Sheet	7 of 7 Emissions of SF₆ and PFCs from Other Prompt Emissive Applications			
Type of Applications <small>1), 2)</small> (please specify)	A	B	C	D
	Sales into application in year t	Sales into application in year t-1	Emissions in year t	Emissions in year t
	(tonne)	(tonne)	(tonne)	(Gg)
			$C = 0.5 * (A + B)$	$D = C/10^3$
Total				
1) For example, tracers and use in production of optical cables.				
2) Insert additional rows, if necessary.				

Sector	Industrial Processes and Product Use		
Category	Other Product Manufacture and Use - N ₂ O from Product Uses		
Category Code	2G3		
Sheet	1 of 2		
Type of Applications	A	B	C
	Quantity of N ₂ O Supplied in this Application Type in Year t	Quantity of N ₂ O Supplied in this Application Type in Year t-1	Emission Factor
	(tonne)	(tonne)	(fraction)
Medical Applications			
Propellant in Aerosol Products			
Other (please specify) ¹⁾			
Total			

1) Insert additional rows, if necessary.

Sector	Industrial Processes and Product Use	
Category	Other Product Manufacture and Use - N ₂ O from Product Uses	
Category Code	2G3	
Sheet	2 of 2	
Type of Applications	D	E
	N ₂ O Emission (tonne)	N ₂ O Emission (Gg)
	$D = (0.5 * A + 0.5 * B) * C$	$E = D/10^3$
Medical Applications		
Propellant in Aerosol Products		
Other (please specify) ¹⁾		
Total		

1) Insert additional rows, if necessary.

ANEXO 2

EMISIONES POTENCIALES (ANTERIORMENTE NIVEL 1 PARA CONSUMO DE HFC, PFC Y SF₆)

Autores

Paul Ashford (Reino Unido) y Jochen Harnisch (Alemania)

Índice

ANEXO 2	EMISIONES POTENCIALES (ANTERIORMENTE NIVEL 1 PARA CONSUMO DE HFC, PFC, Y SF ₆)	4
A2.1	Método básico para calcular las emisiones potenciales	4
A2.2	Cálculos adicionales para estimar las emisiones potenciales según el anterior Nivel 1b.....	7

Ecuaciones

Ecuación A2.1	4
Ecuación A2.2	5
Ecuación A2.3	5
Ecuación A2.4	7
Ecuación A2.5	7
Ecuación A2.6	7
Ecuación A2.7	8
Ecuación A2.8	8

Cuadros

Cuadro A2.1 Esquema de cálculo para la emisiones potenciales, según el anterior Nivel 1a.	5
--	---

ANEXO 2 EMISIONES POTENCIALES (ANTERIORMENTE NIVEL 1 PARA CONSUMO DE HFC, PFC, Y SF₆)

A2.1 MÉTODO BÁSICO PARA CALCULAR LAS EMISIONES POTENCIALES

El enfoque que se aborda a continuación, llamado anteriormente enfoque de Nivel 1 para estimar las emisiones «potenciales» relacionadas con el consumo de hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), ya no se recomienda como método de estimación de las emisiones de HFC, PFC o SF₆. Esto se debe a que tiende a sobreestimar en exceso las emisiones provenientes de fuentes donde las existencias crecen con rapidez y las emisiones presentan retardos durante decenios, tales como los equipos de aire acondicionado y refrigeración, las espumas y los equipos eléctricos. Sin embargo, cuando se considera junto con las estimaciones de las emisiones reales, el enfoque de las emisiones potenciales puede ayudar a validar la exhaustividad de las fuentes cubiertas y servir como verificación de GC, al comparar el consumo nacional total por compuesto, tal como se calcula mediante este «enfoque de las emisiones potenciales», con la suma de todos los datos de la actividad de los variados usos. También puede ayudar a monitorear el crecimiento de los bancos de gases de efecto invernadero y procurar así un indicador sobre la futura carga ambiental potencial. Por ello, el método se incluye aquí para fines de referencia, p. ej., para facilitar la coherencia de las series temporales.

Dado que el consumo neto de una sustancia química es igual a la producción más las importaciones, menos las exportaciones, la fórmula de cálculo para el método básico (antiguo Nivel 1) es la siguiente:

ECUACIÓN A2.1

$$\text{Emisiones potenciales de SF}_6 \text{ desde todos los usos} = \text{Producción} + (\text{Importaciones} - \text{Exportaciones}) - \text{Destrucción}$$

Producción se refiere a la producción de un producto químico nuevo. No se debe incluir el reprocesamiento de los fluidos recuperados. Las importaciones y las exportaciones incluyen los productos químicos a granel y pueden o no incluir las sustancias químicas contenidas, por ejemplo, en refrigeradores, acondicionadores de aire, materiales de embalaje, espumas aislantes, extintores de incendio, etc.

Aunque la destrucción de los HFC, PFC y SF₆ no se practique ampliamente en la actualidad y sea técnicamente difícil en algunos casos, debe incluirse como opción potencial para reducir las emisiones. Las emisiones de productos derivados durante la producción de los HFC, PFC y SF₆, así como las emisiones fugitivas relacionadas con la producción y la distribución deben calcularse por separado.

Existen dos versiones que anteriormente fueron identificadas como de Nivel 1 (a y b), según si se toman o no en cuenta los HFC, PFC y SF₆ incluidos en los productos. En el anterior Nivel 1a, *no* se consideran las sustancias químicas contenidas en los productos. Estas sustancias se consideran en el anterior Nivel 1b. La razón de ser de estas dos versiones es que en muchos países existen dificultades previsibles respecto de la disponibilidad de los datos relacionados con las importaciones y exportaciones de HFC, PFC y SF₆ contenidos en los productos, al menos a corto plazo. Si se dispone de datos pertinentes, se prefiere la metodología anterior de Nivel 1b. Como alternativa, se pueden usar otros datos de la actividad que tomen en cuenta el consumo (emisiones potenciales) asociado con el comercio de productos que contienen HFC, PFC y SF₆.

Si los países escogen desarrollar estimaciones de las emisiones potenciales, se los alienta a efectuar un seguimiento de los HFC, PFC y SF₆ por separado. Sin embargo, ese seguimiento es complicado (en particular para las importaciones y exportaciones) debido al hecho de que muchos de los tipos comerciales de refrigerantes, agentes espumantes, solventes, etc. de HFC y/o PFC, son mezclas de dos o más HFC y/o PFC. Es importante señalar que la composición de los fluidos para fines similares puede variar según fórmulas desarrolladas individualmente por las diferentes compañías químicas.

Anterior Nivel 1a

Las cantidades de HFC, PFC y SF₆ contenidos en varios productos importados o exportados de un país pueden ser difíciles de estimar. En el anterior Nivel 1a, al calcular las emisiones potenciales, sólo se consideran las sustancias químicas importadas o exportadas a granel, lo cual es un enfoque similar al que se emplea

actualmente, según el Protocolo de Montreal, para declarar las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO). Se aplican las definiciones siguientes:

ECUACIÓN A2.2

Importaciones = HFC/PFC/SF₆ importado a granel

Exportaciones = HFC/PFC/SF₆ exportado a granel

La aplicación del anterior Nivel 1 puede conducir a una estimación insuficiente o a una sobreestimación de las emisiones potenciales, según que la mayor parte de los productos que contienen HFC, PFC o SF₆ sea importada o exportada.

Los datos sobre la producción y las exportaciones de sustancias químicas a granel deben estar disponibles a través de las compañías químicas. La información sobre las sustancias químicas a granel puede estar disponible o por medio de los servicios aduaneros. Las autoridades nacionales de protección del medio ambiente pueden llevar registros sobre los HFC, PFC y SF₆ destruidos, si los hay.

Los datos sobre emisiones potenciales para cada sustancia química individual deben calcularse según el esquema del Cuadro A2.1:

CUADRO A2.1 ESQUEMA DE CÁLCULO PARA LA EMISIONES POTENCIALES, SEGÚN EL ANTERIOR NIVEL 1a.
AÑO DE LA DECLARACIÓN:
Tipo de sustancia química (p.ej., HFC-134a):
Producción de la sustancia química + Importación de la sustancia química a granel + Exportación de la sustancia química a granel – Destrucción de la sustancia química = Suma (emisión potencial de la sustancia química)

Las emisiones relacionadas con la producción y la distribución de los HFC, PFC y SF₆ deben tomarse en cuenta como se describe en la Sección 3.10, Producción fluoroquímica.

Anterior Nivel 1b

El anterior Nivel 1b es una extensión del anterior Nivel 1a e incluye los HFC, PFC y SF₆ contenidos en varios productos que se importan y exportan. Se aplican las definiciones siguientes:

ECUACIÓN A2.3

Importaciones = sustancias químicas importadas a granel

+ cantidad de sustancias químicas importadas en productos que contienen HFC/PFC/SF₆

Exportaciones = sustancias químicas exportadas a granel

+ cantidad de sustancias químicas exportadas en productos que contienen HFC/PFC/SF₆

Los gobiernos nacionales deben poder obtener de las compañías químicas los datos sobre la producción y las exportaciones de HFC, PFC y SF₆ a granel. La información sobre las importaciones de sustancias químicas a granel debe estar disponible en los servicios de aduanas, así como en teoría, sobre las importaciones y exportaciones de equipos que contienen HFC, PFC y SF₆. Sin embargo en la práctica, normalmente los códigos arancelarios no distinguen entre los productos y equipos que contienen HFC, PFC y SF₆ y los que no. En consecuencia, para los HFC, PFC y SF₆ contenidos puede ser útil emplear las estimaciones obtenidas de las actividades alternativas. Es probable que las autoridades nacionales de protección del medio ambiente lleven registros sobre los HFC, PFC y SF₆ destruidos.

Para calcular las emisiones potenciales según el anterior Nivel 1b, hay que extender el esquema de cálculo del Cuadro A2.1 para incluir la importación y exportación de las sustancias químicas confinadas en los productos.

En la Sección A2.2 se expone un esquema posible, basado en los equipos de refrigeración, productos de espuma, extintores de incendio, solventes y aerosoles, para calcular las emisiones de las importaciones y/o exportaciones cuyos resultados deben adicionarse a las emisiones calculadas mediante el Cuadro A2.1. En la Sección A2.2, el HFC-xxx se utiliza como ejemplo para explicar el procedimiento que, en la práctica, debe implementarse individualmente para el HFC y PFC y para el SF₆.

A2.2 CÁLCULOS ADICIONALES PARA ESTIMAR LAS EMISIONES POTENCIALES SEGÚN EL ANTERIOR NIVEL 1b

REFRIGERACIÓN

ECUACIÓN A2.4

$$G_{HFC-xxx} = G(\text{Unidad } i) \cdot n(\text{Unidad } i) \cdot F_{HFC-xxx}(\text{Unidad } i) + \dots \\ + G(\text{Unidad } m) \cdot n(\text{Unidad } m) \cdot F_{HFC-xxx}(\text{Unidad } m)$$

Donde:

$G_{HFC-xxx}$ = importaciones (exportaciones) totales de HFC-xxx en las unidades refrigeradas precargadas¹

$G(\text{Unidad } i)$ = carga refrigerante en una unidad refrigerada de tipo i ($i = i \rightarrow m$)

$n(\text{Unidad } i)$ = cantidad de unidades de refrigeración de tipo i importadas (exportadas)

$F_{HFC-xxx}(\text{Unidad } i)$ = fracción del componente HFC-xxx² en el refrigerante (mezcla) de una unidad de tipo i

PRODUCTOS DE ESPUMAS³

ECUACIÓN A2.5

$$G_{HFC-xxx} = V(\text{Espuma } i) \cdot J_{HFC-xxx}(\text{Espuma } i) + \dots + V(\text{Espuma } m) \cdot J_{HFC-xxx}(\text{Espuma } m)$$

Donde:

$G_{HFC-xxx}$ = importaciones (exportaciones) totales de HFC-xxx en las espumas (flexibles y rígidas)

$V(\text{Espuma } i)$ = volumen de la espuma de tipo i importada (exportada) ($i = i \rightarrow m$)

$J_{HFC-xxx}(\text{Foam } i)$ = cantidad remanente de agente espumante HFC-xxx por unidad de volumen de espuma de tipo i

EXTINTORES DE INCENDIO (PRECARGADOS)

ECUACIÓN A2.6

$$G_{HFC-xxx} = G(\text{Unidad } i) \cdot n(\text{Unidad } i) \cdot F_{HFC-xxx}(\text{Unidad } i) + \dots \\ + G(\text{Unidad } m) \cdot n(\text{Unidad } m) \cdot F_{HFC-xxx}(\text{Unidad } m)$$

Donde:

$G_{HFC-xxx}$ = importaciones (exportaciones) totales de HFC-xxx en los extintores de incendio precargados

$G(\text{Unit } i)$ = carga de agente extintor en una unidad de extinción de incendio de tipo i ($i = i \rightarrow m$)

$n(\text{Unit } i)$ = cantidad de unidades de extinción de incendio de tipo i importadas (exportadas)

$F_{HFC-xxx}(\text{Unit } i)$ = fracción del componente HFC-xxx⁴ en el agente extintor de una unidad de tipo i

¹ Las «unidades de refrigeración» pueden ser los refrigeradores, las máquinas productoras de hielo, las unidades de aire acondicionado compactas de ventana, los acondicionadores de aire separables (split), los congeladores, etc.

² Muchas unidades de refrigeración contienen mezclas de HFC/PFC. Hay que considerar la fracción de cada sustancia química (HFC-xxx).

³ Incluidas las espumas aislantes y no aislantes en una variedad de productos como refrigeradores, paneles de aislamiento, secciones de tuberías prefabricadas, sistemas de poliuretano, etc.

SOLVENTES

ECUACIÓN A2.7

$$G_{HFC-xxx} = G(\text{Solvente } i) \cdot F_{HFC-xxx}(\text{Solvente } i) + \dots + G(\text{Solvente } m) \cdot F_{HFC-xxx}(\text{Solvente } m)$$

Donde:

$G_{HFC-xxx}$ = importaciones (exportaciones) totales de HFC-xxx en los solventes

$G(\text{Solvente } i)$ = cantidad de solvente de tipo i importado (exportado) ($i = i \rightarrow m$)

$F_{HFC-xxx}(\text{Solvente } i)$ = fracción del componente HFC-xxx⁵ en el solvente de tipo i

AEROSALES

ECUACIÓN A2.8

$$G_{HFC-xxx} = G(\text{Lata } i) \cdot n(\text{Lata } i) + \dots + G(\text{Lata } m) \cdot n(\text{Lata } m)$$

Donde:

$G_{HFC-xxx}$ = importaciones (exportaciones) totales de HFC-xxx en las latas de aerosoles

$G(\text{Lata } i)$ = carga de propulsor en una lata de aerosol de tipo i ($i = i \rightarrow m$)

$n(\text{Lata } i)$ = cantidad de latas de aerosol de tipo i importadas (exportadas)

Referencias

IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

⁴ Muchas unidades de extinción de incendios contienen mezclas de HFC/PFC. Hay que considerar la fracción de cada sustancia química (HFC-xxx).

⁵ A menudo, los solventes no son HFC ni PFC puros. Hay que considerar la fracción de HFC/PFC de la composición del solvente (HFC-xxx).

ANEXO 3

MEJORAS DESDE 1996

Autores

Jochen Harnisch (Alemania) y William Kojo Agyeman-Bonsu (República de Gana)

Paul Ashford (Reino Unido), Scott Bartos (Estados Unidos), Lisa Hanle (Estados Unidos), Charles Jubb (Australia), Jerry Marks (Estados Unidos), Archie McCulloch (Reino Unido), Robert Lanza (Estados Unidos), Jos G. J. Olivier (Países Bajos), Deborah Ottinger Schaefer (Estados Unidos) y Timothy Simmons (Reino Unido)

Índice

ANEXO 3: MEJORAS DESDE 1996	4
A3.1 Emisiones de la industria de los minerales.....	4
A3.2 Emisiones de la industria química.....	4
A3.3 Emisiones de la industria de los metales	5
A3.4 Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente	5
A3.5 Emisiones de la industria electrónica	6
A3.6 Emisiones de los sustitutos fluorados para las sustancias que agotan la capa de ozono.....	6
A3.7 Manufactura y utilización de otros productos	7
A3.8 Completeness and Allocation of CO ₂ From Non-Energy Uses of Fuels.....	7

ANEXO 3: MEJORAS DESDE 1996

Este volumen contiene cambios y mejoras de envergadura en la sección que cubre los «Procesos industriales» y los «Usos de solventes y Otros productos» en las *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996 (Directrices del IPCC de 1996)*. Primero, estas *Directrices (Directrices del IPCC de 2006)* introducen una orientación práctica sobre la atribución de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por la quema de combustibles en el Sector Energía y en el Sector Procesos industriales, lo cual no estaba claro en las *Directrices del IPCC de 1996*. Segundo, estas *Directrices* se basan en el principio de que las emisiones deben ser declaradas en las industrias donde se producen estas emisiones. En consecuencia, se ha producido un desplazamiento de las categorías en las cuales se declaran algunas emisiones, en particular aquellas que utilizan la piedra caliza, la dolomita y otros carbonatos.

Los otros cambios y/o mejoras principales que se enumeran a continuación están asociados con cada Capítulo de este volumen.

A3.1 EMISIONES DE LA INDUSTRIA DE LOS MINERALES

En las *Directrices del IPCC de 2006* hay tres cambios principales al Capítulo Minerales, en comparación con los documentos de orientación anteriores. En primer lugar, se ha introducido un nuevo método basado en las entradas para todas las categorías de fuentes que estiman las emisiones basándose en la cantidad, el tipo y la composición de las entradas de carbonatos en los procesos de producción. Por ejemplo, además del método de Nivel 2 basado en la salida de clínker durante la producción de cemento, se ha elaborado un método alternativo basado en la estimación de las emisiones provenientes de las entradas de carbonatos a los hornos de altas temperaturas.

En segundo lugar, se han desarrollado orientaciones claras para especificar dónde deben declararse las emisiones provenientes del uso de la piedra caliza, la dolomita y de otros carbonatos. Como se ha señalado más arriba, estas *Directrices* se basan en el principio de que las emisiones deben declararse en las industrias donde ocurren. Por ejemplo, allí donde la piedra caliza se utiliza como fundente para la producción de hierro y acero, las emisiones provenientes del uso de la piedra caliza deben declararse bajo Producción de hierro y acero. Sólo las emisiones provenientes de la piedra caliza y la dolomita utilizadas en la industria de los minerales deben declararse en el Capítulo sobre la Industria de los Minerales. Se alienta a los compiladores del inventario a evaluar cuidadosamente la repercusión de este cambio sobre las estimaciones, particularmente de las emisiones provenientes de la Industria de los minerales, la Industria química y la Producción de los metales.

Además, mientras que la orientación anterior destacaba sólo los usos de la piedra caliza y de la dolomita, en estas *Directrices* se abordan también los métodos para estimar las emisiones procedentes del uso de otros carbonatos, incluidos la magnesia y el carbonato de sodio. En estas *Directrices* se establecen también tres enfoques para estimar las emisiones procedentes de la producción de vidrio. También se considera la liberación de CO₂ inducida por ácidos a partir de la acidificación de los materiales que contienen carbonatos (p. ej., los minerales de fosfato), aunque no se proporcionan métodos específicos de estimación.

A3.2 EMISIONES DE LA INDUSTRIA QUÍMICA

Se han introducido nuevas fuentes de emisiones: emisiones de óxido nitroso (N₂O) provenientes de la producción de caprolactama, glyoxal y ácido glyoxílico y emisiones CO₂ de procedentes de la producción de dióxido de titanio. La producción de ceniza de sosa ha sido reafectada desde la Industria de los minerales a la Industria química. En la sección sobre la producción de ceniza de sosa se ha introducido la metodología para el proceso de producción de ceniza de sosa sintética (Solvay), la cual faltaba en las *Directrices del IPCC de 1996* y en la *Orientación sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (GPG2000)*.

Se han incorporado los factores de emisión de CO₂ para los procesos de producción petroquímicos, incluidos los factores de emisión para la producción de metanol, etileno, dicloruro de etileno y/o cloruro de vinilo, óxido de etileno, acrilonitrilo y negro de humo. Para estos procesos de producción petroquímicos se han actualizado los factores de emisión del metano. La producción de estireno ya no forma parte de este documento de orientación. En el texto se proporciona una descripción sistemática de las metodologías de Nivel 1, 2 y 3 para todas las categorías de fuente.

Las descripciones de los procesos relacionados con las emisiones han sido extendidas para proporcionar más información acerca de los aspectos químicos y tecnológicos.

Se proporciona también una orientación más sistemática para evitar los cálculos dobles de los productos combustibles utilizados como sustancias de alimentación a procesos o como agentes reductores (tema interdisciplinario con el Sector Energía). Esta cuestión se analiza en relación con la producción de amoníaco, carburo y dióxido de titanio, así como con la producción petroquímica (Secciones 3.2, 3.6, 3.7 y 3.9).

En la sección sobre la producción de amoníaco se incluye un análisis sobre la utilización del CO₂ en la producción de urea. Las emisiones provenientes del uso de la urea que se contabilizaban anteriormente en el Sector Procesos Industriales han sido reafectadas según los sectores donde se utiliza la urea (Sector Energía y Sector Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU)), con el fin de tomar en cuenta de una manera adecuada las exportaciones de urea producida en las plantas de amoníaco. Las emisiones procedentes de otros productos químicos fabricados utilizando el CO₂ recuperado en el proceso de producción de amoníaco se contabilizan junto con las emisiones provenientes de la producción de amoníaco, como antes.

En la metodología para calcular las emisiones de HFC-23 a partir de la producción de HCFC-22 se han incorporado los métodos principales utilizados dentro de la industria, incluidas las mediciones directas y continuas, de sustitución e internas del proceso para el Nivel 3, así como los métodos de balance material basados en la eficiencia, para el Nivel 2. Además, se ha integrado una orientación específica para las emisiones fugitivas y de los productos derivados provenientes de la producción de otros compuestos fluorados que incluyen los hidrofluorocarbonos (HFC), el hexafluoruro de azufre (SF₆) y el hexafluoruro de uranio (UF₆).

A3.3 EMISIONES DE LA INDUSTRIA DE LOS METALES

En la Sección Industria de los metales de las *Directrices del IPCC de 2006* se incorporan varios cambios. Ahora, las emisiones de CO₂ se contabilizan dentro de la orientación sobre metales, cuando los materiales que contienen carbono, incluidos los minerales que contienen carbonatos, se utilizan en los procesos de producción de los metales con otros propósitos que los de producir energía dentro del proceso. Por ejemplo, las emisiones de CO₂ provenientes de los electrodos basados en el carbono que se utilizan en la producción del aluminio se incluyen ahora en la orientación para el aluminio y las emisiones de CO₂ provenientes del uso de la piedra caliza y la dolomita empleadas en la fabricación de hierro y acero se incluyen en la orientación para la producción de hierro y acero.

La Sección Industria de los metales incluye ahora orientación para estimar las emisiones de CO₂ y CH₄ provenientes de la producción de coque (carbón) metalúrgico; sin embargo, las emisiones de CO₂ y CH₄ provenientes de la producción de coque deben declararse bajo el Sector Energía, y no bajo el Sector Procesos industriales y uso de productos (IPPU). Los factores de emisión para la producción de hierro reducido directo (DRI), pelets y sinterizado, a partir del mineral de hierro y otras materias primas que contienen hierro, se incluyen ahora en la sección sobre producción de hierro y acero. Se proporcionan factores de emisión separados de CO₂ para la fabricación de hierro en alto horno y la fabricación de acero que utiliza los procesos en hornos básicos de oxígeno (BOF), hornos de arco eléctrico (EAF) y hornos de solera o de reverbero (OHF).

En esta sección se incluyen también las emisiones de CO₂ provenientes de la producción de magnesio primario basada en las materias primas de dolomita y magnesita. Además, se ha desarrollado una nueva orientación disponible para el cálculo de las emisiones de CO₂ procedentes de la producción de cinc y de plomo. Se proporcionan factores de emisión de CO₂ separados para los procesos primarios y secundarios de la producción de plomo y de cinc. También se incluye una orientación más completa para los procesos de producción de las ferroaleaciones. En las *Directrices del IPCC de 2006* se ofrece una orientación revisada para el magnesio en relación con los nuevos gases que reflejan los esfuerzos realizados para reemplazar el uso del hexafluoruro de azufre como gas de cobertura. Por último, se actualizaron los factores de los cálculos para que reflejen la experiencia más reciente respecto de los factores de emisión medidos, las composiciones típicas de los materiales de proceso que tienen un impacto sobre los cálculos y, en algunos casos, se incluyen nuevas ecuaciones.

A3.4 USO DE PRODUCTOS NO ENERGÉTICOS DE COMBUSTIBLES Y DE SOLVENTE

Casi la totalidad de esta categoría de fuente, que se describe en el Capítulo 5, es nueva dentro del Sector IPPU. Las *Directrices del IPCC de 1996* cubrían las emisiones provenientes del asfalto y de la pavimentación de rutas,

pero con mucho menos detalle. Los productos cubiertos aquí incluyen: los lubricantes, las ceras de parafina, el alquitrán y/o el asfalto y los solventes.

Las emisiones provenientes de los lubricantes antes estaban cubiertas por la quema de combustibles, sin ninguna discriminación entre las emisiones generadas durante el uso de los lubricantes y todas las emisiones nuevas generadas por la utilización de los lubricantes desechados para la producción de calor. Lo mismo se aplica para las ceras de parafina. Las emisiones del asfalto se refieren a la producción y al uso del asfalto para la pavimentación de rutas, la impermeabilización de techos y otras aplicaciones. Las emisiones del asfalto incluyen también las emisiones generadas por el soplado del asfalto. La subcategoría «2D3: Uso de solvente» se refiere a las subcategorías 3A y 3B de las *Directrices del IPCC de 1996*. Aunque el asfalto y los solventes no son fuentes significativas de emisiones de gases de efecto invernadero directos, se incluyen en este capítulo para describirlas, pues son fuentes de precursores de ozono (compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), y en el caso del asfalto, también de monóxido de carbono (CO)). En particular, el uso de los solventes es una fuente muy sustancial de COVDM.

A3.5 EMISIONES DE LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA

En las *Directrices del IPCC de 1996* y en la *GPG2000* se describen métodos para estimar las emisiones provenientes sólo de la fabricación de semiconductores, para siete compuestos de carbono fluorados: CF_4 , C_2F_6 , CHF_3 , C_3F_8 , $c-C_4F_8$, NF_3 y SF_6 . En las *Directrices del IPCC de 2006* se expande el alcance para incluir sectores de fabricación adicionales y más gases, se actualizan los factores de emisión y la metodología de Nivel 1 y se proporcionan estimaciones explícitas de las incertidumbres para los factores de emisión y los datos de la actividad. Las *Directrices del IPCC de 2006* incorporan las emisiones provenientes de la fabricación de las pantallas de cristal líquido (LCD) y de las células fotovoltaicas (PV), así como del uso de fluidos de transferencia térmica en la fabricación de semiconductores. Además, en las *Directrices del IPCC de 2006* se ha aumentado el número de gases de efecto invernadero para incluir el difluorometano (CH_2F_2), octofluorociclopenteno (C_5F_8), hexafluorobutadieno (C_4F_6) y octofluorotetrahidrofurano (C_4F_8O); el F_2 y el COF_2 han sido agregados también porque, aún cuando no son gases de efecto invernadero, se puede formar el CF_4 durante su uso. Se ha adoptado una nueva metodología de Nivel 1 que incluye nuevos factores de emisión por defecto y datos de la actividad para todos los sectores.

A3.6 EMISIONES DE LOS SUSTITUTOS FLUORADOS PARA LAS SUSTANCIAS QUE AGOTAN LA CAPA DE OZONO

Las emisiones de varias categorías de fuentes (aplicaciones) cubiertas por este capítulo han sido objeto de estudios considerables desde la redacción de las *Directrices del IPCC de 1996*. En particular, se aplica al caso de los sectores con emisiones retardadas (p. ej., refrigeración, espumas y protección contra incendios) donde las estimaciones anteriores de los factores de emisión propuestas por Gamlen y otros han sido más desarrolladas para que reflejen los índices de emisión variables correspondientes a una variedad de sub-aplicaciones. Una gran parte de este trabajo fue incluido en la *GPG2000*.

Una de las consecuencias de este conocimiento mejorado ha sido el reconocimiento de que el enfoque de las emisiones potenciales utilizado como Nivel 1 en las *Directrices del IPCC de 1996* ya no es apropiado. El enfoque de las emisiones potenciales aparece descrito todavía en el Anexo 1 de este volumen en calidad de instrumento de verificación de la exhaustividad de las fuentes y como verificación de GC para la suma de los datos de la actividad por compuesto, el cual debería ser igual a la suma de los consumos nacionales aparentes, tal como se calculan en el enfoque de las emisiones potenciales. Los enfoques de Nivel 1 propuestos ahora en estas *Directrices* son, por lo tanto, métodos de estimación de las emisiones reales, aunque estén basadas a menudo en los factores de emisión por defecto y, si no se dispone de mejor información, con la posibilidad de que utilicen las bases de datos de la actividad mundiales y/o regionales. El Capítulo 7 de este volumen contiene ejemplos de estos nuevos enfoques de Nivel 1 y orientación sobre cómo implementarlos. Los enfoques simplificados por equilibrio de masas se han mantenido también en los sectores apropiados, de la manera más típica donde se utiliza y se da servicio de mantenimiento a equipos bajo presión (refrigeración y protección contra incendios). Se ha dirigido también la atención al tratamiento de los solventes contenidos en los aerosoles. Ahora, las emisiones provenientes de todos los productos que emplean aerosoles, independientemente de sus propósitos, se declaran dentro de la aplicación de los aerosoles.

La información de la actividad sigue siendo uno de los mayores desafíos en el área de los sustitutos de las SAO, en particular al nivel de los países, debido a dos razones. La primera es que no se puede monitorear fácilmente el comercio de los productos que contienen HFC y/o perfluorocarbonos (PFC), y la segunda es que quizá deba protegerse la confidencialidad de los datos de la actividad para ciertas sustancias químicas específicas. Por lo tanto, los datos de la actividad mundiales y/o regionales obtenidos de fuentes reputadas pueden procurar una ayuda significativa a algunos países que declaran emisiones y se propone que la base de datos sobre factores de emisión del IPCC (EFDB) actúe como centro de coordinación para tales datos. Sin embargo, aún cuando la inclusión en la EFDB constituye una cierta garantía de que se ha seguido un proceso adecuado, los compiladores del inventario siguen siendo responsables de evaluar el carácter apropiado de esos datos para sus propósitos.

A3.7 MANUFACTURA Y UTILIZACIÓN DE OTROS PRODUCTOS

Las *Directrices del IPCC de 1996* contenían sólo dos métodos para estimar las emisiones de SF₆ provenientes de los equipos eléctricos: (1) un enfoque potencial que equiparaba las emisiones con el consumo de sustancias químicas, y (2) un enfoque simple por factor de emisión que aplicaba los factores de emisión por defecto, específicos del país o mundiales, a las cantidades de SF₆ contenidas en los equipos en funciones y en los equipos que se retiran, respectivamente. La *GPG2000* introdujo tres métodos por equilibrio de masas de Nivel 3 y un enfoque por factor de emisión de Nivel 2 más detallado, que proporcionaba los factores de emisión para cada etapa del ciclo de vida útil. Además, la *GPG2000* proporcionaba los factores de emisión por defecto regionales para estos últimos.

Las *Directrices del IPCC de 2006* simplifican la *GPG2000* mediante: (1) el reemplazo de dos de los métodos por equilibrio de masas de Nivel 3 por un único método flexible de Nivel 3 que contiene componentes basados tanto en el equilibrio de masas como en los factores de emisión; (2) el desplazamiento del método por equilibrio de masas al nivel del país hacia la sección de GC/CC; (3) el desplazamiento del método para estimar las emisiones potenciales desde el análisis de la Opción metodológica hacia una sección aparte donde puede utilizarse para la GC/CC; y (4) el reemplazo del enfoque de las emisiones potenciales por el enfoque basado en un factor de emisión por defecto, el cual se ha cambiado de Nivel 2 a Nivel 1. Estos cambios dejan un método de Nivel 3, un método de Nivel 2 y un método de Nivel 1. En estas *Directrices* se actualizan también los factores de emisión regionales proporcionados en la *GPG2000*, lo cual proporciona valores para tipos adicionales de equipos y para regiones adicionales. Por último, en estas *Directrices* se incorporan nuevas orientaciones sobre la selección y el uso de datos alternativos de la actividad para el caso de que no se disponga de datos preferidos para todas las instalaciones. Estas actualizaciones integran la experiencia en generación de informes adquirida en los últimos años.

En la sección «Uso del SF₆ y de los PFC en otros productos» se han añadido métodos específicos para estimar las emisiones provenientes de los aceleradores industriales y de investigación y de los aviones de reconocimiento con radar (p. ej., los AWACS). Se ha añadido una lista indicativa de fuentes potenciales de SF₆ y PFC adicionales para orientar al preparador del inventario.

También, se ha mejorado la orientación relacionada con las emisiones de N₂O provenientes del uso de los productos, como las aplicaciones médicas.

A3.8 COMPLETENESS AND ALLOCATION OF CO₂ FROM NON-ENERGY USES OF FUELS

Se han introducido dos enfoques de Control de calidad (CC) – una *verificación de la exhaustividad* del CO₂ y una verificación del *balance de alimentación al proceso* – para corroborar la exhaustividad en los cálculos de las emisiones de CO₂ generadas por el uso de sustancias de alimentación/agentes reductores de los combustibles fósiles. Se proporcionan orientaciones para facilitar la organización y la realización de esta tarea: (a) verificar que todas las emisiones de CO₂ calculadas de «abajo hacia arriba», provenientes de fuentes de usos no energéticos (incluidos los usos como sustancias de alimentación y como agentes reductores), en los diferentes niveles de sub-categorías, sean exhaustivas y coherentes, y b) verificar que los requerimientos de sustancias de alimentación y/o de agentes reductores del proceso, incluidos en el inventario, estén en equilibrio con los usos no energéticos y/o los suministros de sustancias de alimentación según lo que esté registrado en las estadísticas nacionales sobre energía. Además, se brinda orientación para documentar y declarar cómo se *atribuyen* estas emisiones en el inventario y cómo se verifica la exhaustividad (Sección 1.4).

La Sección 1.3 proporciona una explicación de los principios que han guiado la estimación y las declaraciones de las emisiones de CO₂ provenientes de los usos no energéticos de los combustibles fósiles y describe los problemas de datos relacionados con los métodos de estimación.

ANEXO 4

GLOSARIO PARA PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS

ANEXO 4 GLOSARIO PARA PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS

En este anexo se proveen definiciones y abreviaturas para los términos empleados en este volumen sobre el Sector Procesos industriales y uso de productos (IPPU, del inglés, *Industrial Processes y Product Use*). Este anexo debe utilizarse en conjunto con el «Glosario» general del Volumen 1 de estas Directrices, el cual provee definiciones para los términos utilizados, no solamente en este volumen, sino también en todos los demás volúmenes.

Glosario

ÁCIDO ADÍPICO (ÁCIDO HEXANODIOICO)

Un ácido carboxílico utilizado principalmente en la industria química como una etapa intermediaria en la producción de nilón 6.6. Se produce comercialmente a partir del ciclohexano mediante procesos de oxidación. En el proceso de producción del ácido adípico se produce óxido nitroso (N_2O), como producto derivado no deseado.

ÁCIDO NÍTRICO

Ácido fuerte empleado principalmente como sustancia para la alimentación del proceso de producción de fertilizantes y de ácido adípico. En el proceso de producción del ácido nítrico se produce óxido nitroso (N_2O), como producto derivado no proyectado.

AGENTE DE ESCORIFICACIÓN

Material como la piedra caliza, la dolomita, la cal y la arena de sílice, que sirve para extraer las impurezas del mineral bruto durante la fundición de los minerales metálicos, a través de la formación de escorias. Los agentes de escorificación realizan comúnmente una doble función pues actúan también como fundentes.

AGLUTINANTE ASFÁLTICO

Alquitrán que ha sido preparado para usarlo como elemento adherente del concreto asfáltico mezclado en caliente o HMA (del inglés, *Hot Mix Asphalt*) y de otras aplicaciones para pavimentar. En Estados Unidos, el aglutinante asfáltico a veces se denomina de manera informal «*asphalt cement*».

ALQUITRÁN (BITUMEN)

El alquitrán es un hidrocarburo sólido, semi-sólido o viscoso con una estructura coloidal, de color marrón a negro, que existe en forma natural o se obtiene como residuo de la destilación del petróleo crudo, por destilación al vacío de óleos residuales de la destilación atmosférica. Es uno de los componentes del concreto asfáltico (generalmente, entre un 4% y un 10% de la mezcla) y sirve para mantener adheridos los agregados (materias minerales que componen la otra parte). Se utiliza generalmente para la construcción de rutas, para la fabricación de materiales de impermeabilización de techos y en aplicaciones de nebulizadores de sellado. La mayor parte (generalmente entre un 80% y un 90%) se emplea en la pavimentación de rutas. El alquitrán se almacena generalmente a 150°C para mantenerlo en estado líquido. En Estados Unidos, el concreto asfáltico se denomina informalmente «*asphalt*» o «*asphalt concrete*».

ALQUITRÁN (TAR)

Líquido viscoso derivado de la destilación destructiva o pirólisis de una materia orgánica. La mayoría de los alquitranes son producidos a partir del carbón como un producto derivado de la producción de coque metalúrgico en los hornos de coque, pero puede producirse también a partir del petróleo, de la turba o de la madera. Véase también «Alquitrán de hulla».

ALQUITRÁN DE HULLA

Producto derivado líquido que se forma por destilación de la hulla bituminosa para obtener el coque. El alquitrán de hulla es un líquido viscoso que contiene numerosos compuestos orgánicos. Puede ser destilado aún más para obtener una gran variedad de compuestos aromáticos (los destilados) y brea de hulla. Los productos del alquitrán

de hulla se utilizan para revestimientos de techos, para impermeabilizaciones, para fabricar compuesto aislantes y como materias primas para hacer muchas tinturas, drogas y pinturas.

ALTO HORNO

Horno utilizado en la industria del hierro y el acero, en el cual se intensifica la combustión mediante la inyección de aire a presión, particularmente para fundir el hierro por soplado de aire a través de una mezcla caliente de mineral ferroso, de coque y de fundente.

AMOXIDACIÓN

Proceso de conversión de olefinas, parafinas, etc. en nitrilo (R-CN), en presencia de amoníaco (NH₃) y oxígeno (O₂). Un ejemplo típico es la reacción entre propileno (C₃H₆), amoníaco y oxígeno, para producir acrilonitrilo.

ANTORCHA

Dispositivo para quemar, sin recuperación de energía, los compuestos orgánicos volátiles de los gases de escape.

ASFALTO

El asfalto es el producto de la mezcla del alquitrán y agregados (de grano grueso o fino, incluida la arena) que se usa para pavimentar rutas, calzadas y aceras -conocido también como macadán-, para impermeabilizar techos, y para otros usos industriales. Los principales tipos de asfalto son: asfalto de mezcla en caliente (HMA, del inglés, *Hot Mix Asphalt*), asfalto líquido, asfalto disuelto o revertido, asfaltos de curado lento (sinónimo: *road oil*), emulsiones asfálticas y mástico asfáltico. Los asfaltos rebajados y las emulsiones se usan generalmente para los riegos de impregnación y riegos de adherencia; el mástico asfáltico se usa para la impermeabilización de techos. La mezcla de agregados (de grano grueso o fino, incluida la arena) y de alquitrán caliente, una vez depositada sobre la ruta, compactada y luego dejada enfriar, se transforma en el asfalto común. Los agregados constituyen aproximadamente entre el 90% y el 96% de la mezcla de asfalto (la liga asfáltica constituye el otro 4% a 10%). En Estados Unidos, el término «*asphalt*» se aplica informalmente tanto al alquitrán (*bitumen* o *crude asphalt*), que es un residuo del proceso de refinación del petróleo, como al «*asphalt binder*» (liga asfáltica) que se produce a partir del alquitrán y al «*asphalt concrete*» (concreto asfáltico) que se utiliza para pavimentar rutas y para otras aplicaciones.

ASFALTO SOPLADO

Sinónimo de alquitrán oxidado. Asfalto tratado mediante el soplado de aire caliente para obtener las propiedades físicas requeridas para el uso industrial del producto final. Los asfaltos oxidados se usan generalmente en las operaciones de impermeabilización de techos, de revestimiento de tubos y en aplicaciones hidráulicas. Denominado también en inglés «*air-blown asphalt*» o «*air-refined asphalt*».

BANCO (PARA LOS EFECTOS DE LOS CAPÍTULOS 7 Y 8)

Los bancos son las cantidades totales de las sustancias contenidas en los equipos existentes, las existencias de productos químicos, las espumas y otros productos que no han sido liberados aún en la atmósfera. Esta terminología se utiliza tradicionalmente para referirse a las sustancias que agotan la capa de ozono (ODS, del inglés, en *Ozone Depleting Substances*) y a otros compuestos fluorados.

BREA (MINERAL PITCH)

Residuo de la destilación del petróleo. Véase «Asfalto».

BREA (PITCH)

Cualquiera de las sustancias oscuras, pesadas y viscosas que se obtienen como residuos. La brea de alquitrán de hulla es un componente del alquitrán de hulla derivado de la producción del coque (carbón) metalúrgico realizada en hornos de coque. Se la utiliza en la impermeabilización de techos, la producción de ánodos y en otras aplicaciones industriales. La brea mineral es un derivado residual de la destilación del petróleo. A veces, el término «brea» es utilizado erróneamente para designar el alquitrán o el asfalto. Nótese que los términos «alquitrán de hulla» [*“coal tar”*, en inglés] y «brea de alquitrán de hulla» [*“coal tar pitch”*, en inglés] [brea de carbono] no son sinónimos.

Véase: <http://www.koppers.com/htm/PandS Proc Main.html>

CAL APAGADA

Denominación común para el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) que resulta de la hidratación de la cal viva con fuerte proporción de calcio o cal de dolomita (carbonato natural doble de calcio y de magnesio).

CALCINACIÓN

Proceso químico de la fabricación del cemento o cal, en el cual las materias primas, principalmente los carbonatos, son calentados en hornos para producir óxido metálico y dióxido de carbono; p. ej., $\text{CaCO}_3 + \text{calor} = \text{CaO} + \text{CO}_2$. En el caso más general, la calcinación es un proceso de expulsión inducida por el calor de elementos volátiles ligados estructuralmente, con excepción del agua.

CÁLCULO DEL BALANCE DE MASA DE CARBONO (PARA LOS EFECTOS DE LA SECCIÓN 3.9)

Método para estimar las emisiones totales de carbono de un proceso químico mediante la identificación del caudal másico y del contenido en carbono de cada corriente de productos químicos que fluya hacia el proceso o salga de éste. Entre las corrientes del proceso que deben tenerse en cuenta se incluyen las materias primas (p. ej., las sustancias para la alimentación a procesos), los suplementos de combustible, los productos primarios, los productos secundarios, los productos de desecho sólidos y líquidos, y los gases de escape (p. ej., los gases de purga, las descargas gaseosas).

CAPACIDAD NOMINAL

Carga completa e intrínseca de fluido o gas, según la especificación del fabricante de los equipos, que permite alcanzar el rendimiento especificado de los equipos en cuestión. La capacidad nominal viene indicada normalmente en la placa de identificación del equipo; puede no corresponder necesariamente a la carga efectiva y ser afectada por las fugas y otras emisiones. Esta definición es pertinente para los capítulos 1, 6, 7 y 8 de este volumen.

CAPROLACTAMA

La caprolactama ($\text{NH}(\text{CH}_2)_5\text{CO}$) es el monómero de las fibras de nilón-6 y de los plásticos que entran en una proporción importante en las fibras utilizadas para la fabricación de alfombras. Los procesos comerciales de fabricación de caprolactama se basan en el tolueno o en el benceno.

CARBONATOS

Compuestos que contienen el radical CO_3^{-2} . Durante la calcinación, el radical carbonato se descompone y se transforma en dióxido de carbono (CO_2). Los carbonatos comunes consumidos en la industria de los minerales incluyen el carbonato de calcio (CaCO_3) o calcita, el carbonato de magnesio (MgCO_3) o magnesita y el carbonato de calcio y magnesio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) o dolomita.

CATALIZADOR

Sustancia que acelera la velocidad de una reacción química, pero no se consume como materia prima ni participa como producto químico de la reacción.

CENIZA DE SOSA (CARBONATO DE SODIO, Na_2CO_3)

La ceniza de sosa es un sólido cristalino blanco que se emplea como materia prima en un gran número de industrias, incluida la fabricación de vidrio, jabón y detergentes, la producción de pulpa y de papel, así como en el tratamiento de las aguas. Se pueden utilizar cuatro procesos diferentes para producir ceniza de sosa comercial. Tres de estos procesos, el del monohidrato, el del sesquicarbonato sódico (trona) y el de la carbonización directa, son designados como procesos naturales. El cuarto, el proceso de Solvay, se clasifica como proceso sintético.

CERAS DE PARAFINA

Sinónimo de los alcanos y las parafinas. En general, la denominación parafina denota particularmente las moléculas (isómeras) de los alcanos que poseen largas cadenas lineales. Éstas corresponden a los hidrocarburos alifáticos saturados. Estas ceras son los residuos extraídos durante el desparafinado de los aceites combustibles. Poseen una estructura cristalina más o menos fina, según el grado. Sus características principales son las siguientes: son incoloras, inodoras y traslúcidas y su punto de fusión es superior a los 45°C .

CLÍNKER (ESCORIA DE CEMENTO)

Producto intermediario creado en un horno de altas temperaturas durante la fabricación del cemento. En el horno de altas temperaturas se calcina el carbonato de calcio para obtener cal (CaO) y dióxido de carbono (CO₂). El CaO reacciona luego con el dióxido de silicio (SiO₂) y otros óxidos para formar minerales hidráulicamente reactivos (principalmente silicatos de calcio) dentro de nódulos semi-vitrificados llamados clínker (o escoria de cemento). El clínker se muele luego finamente (generalmente, con una pequeña cantidad de yeso) para formar el cemento. El CO₂ proveniente de la fabricación de clínker (tanto el que proviene de la calcinación como el que produce la quema de combustibles para hornos de altas temperaturas) se libera normalmente en la atmósfera como un producto de desecho y es una fuente significativa de las emisiones mundiales de CO₂.

CLORACIÓN DIRECTA

Reacción directa de un compuesto para producir compuestos clorados de sustitución, p. ej., del etileno (C₂H₄) con el cloro diatómico (Cl₂) para producir dicloruro de etileno.

COCIENTE ESTEQUIOMÉTRICO

La estequiometría trata de las relaciones cuantitativas entre los reactivos y los productos de una reacción química. En el campo de los minerales, se utiliza el cociente estequiométrico para determinar la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) liberado por unidad de carbonato en entrada, y puede ser expresado como el peso molecular del CO₂ dividido por el peso molecular del carbonato (p. ej., 44,01 g de CO₂ / 100,09 g de CaCO₃).

COQUE DE PETRÓLEO

Es un residuo sólido negro y brillante que es el producto final del proceso de condensación en los hornos de escisión y carbonización del petróleo. Está constituido principalmente por carbono (de 90% a 95%) y suele quemarse sin dejar cenizas. Se utiliza principalmente en los procesos metalúrgicos y como combustible en la fabricación de cemento. El término excluye aquellos residuos (coque metalúrgico) obtenidos de la carbonización del carbón. A veces se distingue entre el coque comercial y el coque como catalizador. El coque comercial corresponde a las diferentes leyes del coque de petróleo producido en hornos retardados o fluidizados, el cual puede convertirse en un carbono relativamente puro. Este coque «verde» se vende en su estado bruto o purificado aún más mediante la calcinación. El coque de catálisis se genera en muchas operaciones catalíticas (p. ej., la escisión catalítica), en las cuales el carbono se deposita sobre el catalizador, lo cual lo desactiva. El catalizador se reactiva por quemado y extracción del carbono, que se utiliza como combustible en el proceso de refinación. Este carbono o coque no es recuperable bajo forma concentrada.

COQUE METALÚRGICO

Sinónimo de coque de horno de coque. El coque, un combustible de alta ley de carbono y/o reductor fabricado por devolatilización (carbonización) a altas temperaturas de algunos carbones bituminosos de variada ley, es un combustible poroso con pocas impurezas y un alto contenido en carbono. Es utilizado principalmente en los procesos metalúrgicos tales como la producción de hierro en altos hornos y la fabricación de ferroaleaciones, plomo y zinc. El semi-coque, un producto sólido obtenido de la carbonización de la hulla a baja temperatura, se agrega al coque de horno de coque y se utiliza principalmente como combustible doméstico. No debe confundirse con el coque de petróleo.

COLUMNA O PLUMA

Flujo de contaminantes liberados en la atmósfera, provenientes de una chimenea o respiradero de ventilación asociado a un proceso.

COMBUSTIBLE SUPLEMENTARIO

Combustible provisto a un proceso químico, además de las sustancias primarias de alimentación, destinado a entregar calor adicional al proceso.

COMBUSTIÓN INCOMPLETA

Combustión de compuestos orgánicos para los cuales la combustión genera una conversión inferior al 100% de los compuestos orgánicos en CO₂ y H₂O. Ello puede deberse a una falta de oxígeno o a una temperatura baja, lo cual impide mantener una reacción química completa. Debido a la combustión incompleta, se genera monóxido de carbono como producto derivado.

CONCRETO ASFÁLTICO

También llamado hormigón asfáltico, está compuesto por un aglutinante asfáltico (alquitrán) mezclado con un agregado mineral, depositado en capas y compactado. El alquitrán mezclado en caliente o HMA (del inglés, *Hot Mix Asphalt*) es una combinación de aproximadamente 95% de agregado mineral que se mantiene ligado con un aglutinante asfáltico calentado antes de la realización de la mezcla. En Estados Unidos, el concreto asfáltico se denomina informalmente «*asphalt*» o «*asphalt concrete*».

CONMUTADOR

Término genérico que cubre los dispositivos de conmutación y sus combinaciones con los equipos asociados de control, medida, protección y regulación; por igual, los montajes de tales dispositivos y equipos con sus interconexiones asociadas, accesorios, envolturas y estructuras de sustentación. En principio, los conmutadores se utilizan con fines relacionados con la generación, la transmisión, la distribución y la conversión de energía eléctrica.

COMPUESTOS FLUORADOS (FC, DEL INGLÉS, *FLUORINATED COMPOUNDS*)

Compuestos fluorados (FC) es un término empleado en el Capítulo 6, «Emisiones de la industria electrónica», para referirse a la amplia gama de gases y líquidos fluorados de alto, bajo (o nulo) Potencial de calentamiento atmosférico (PCA) utilizados durante las fabricaciones electrónicas. Los FC incluyen ciertos perfluorocarbonos (PFC), hidrofluorocarbonos (HFC), así como hexafluoruro de azufre (SF_6). Los productos químicos de bajo (o nulo) PCA, tales como los CH_2F_2 , COF_2 y F_2 , se incluyen cuando su uso conduce a la formación de productos de alto PCA, tales como el CF_4 .

DECAPADO POR PLASMA

Método empleado para retirar finas capas de materia (generalmente, del silicio o del aluminio) mediante un proceso muy controlado (isotrópico o anisotrópico) durante la fabricación de circuitos integrados en gran (o ultra-gran) escala. Una radiación de frecuencia de ondas de radio o de microondas se acopla con una mezcla gaseosa a baja presión para ionizarla (formación de plasma) y disociar las moléculas del gas en sus constituyentes más reactivos. Generalmente, la mezcla gaseosa contiene halógenos tales como flúor (F), cloro (Cl), bromo y yodo (I). Los decapantes formados por plasma transfieren intrincados patrones sobre un sustrato subyacente, de manera directa y selectiva, mediante procedimientos de fotolitografía y reacciones químicas de plasma apropiadas. El decapado isotrópico se emplea para planarizar las capas de metal del aluminio. Para fabricar capacitores con estructuras de surco en una célula de memoria se requieren más de 20 etapas diferentes de decapado. Entre las 400 etapas requeridas aproximadamente por el proceso para fabricar un dispositivo DRAM (del inglés, *Direct Random Access Memory*) de 16 MB, más de 50 son etapas de decapado por plasma (por supuesto, no todas utilizan un FC).

DEPÓSITO QUÍMICO EN FASE VAPOR ASISTIDO POR PLASMA (PECVD, DEL INGLÉS, *PLASMA ENHANCED CHEMICAL VAPOR DEPOSITION*)

Depósito químico en fase vapor asistido por plasma (PECVD) denota el procedimiento de deposición química en fase vapor en el cual un plasma de radiofrecuencia interactúa por resonancia con una mezcla reactiva gaseosa para facilitar la formación del depósito deseado (película delgada) sobre un sustrato situado en la cámara de reacción. Con el plasma, la formación de la película delgada se produce a temperaturas más bajas que sin el plasma. El PECVD se emplea para depositar películas de dióxido de silicio, de nitruro de silicio y de oxinitruro de silicio. Durante la fabricación de un dispositivo DRAM (del inglés, *Direct Random Access Memory*) de 16 MB, se utiliza el PECVD para depositar más de 20 capas. Además de la formación de productos derivados volátiles, que se extraen de la cámara de reacción mediante un flujo de gas, en las paredes de la cámara se forman películas por deposiciones no deseadas que disminuyen el rendimiento del proceso si no se limpian de manera rutinaria. Se limpia la cámara con FC, ya sea en una etapa de limpieza in situ o remota. Se realiza la limpieza por la acción de los átomos de F (átomos de flúor que se producen a través de una disociación de los FC inducida por plasma) que reaccionan con el silicio inoportunamente depositado para formar el gas SiF_4 , que se vacía de la cámara. Concluye la limpieza cuando ya no queda SiF_4 presente en los efluentes de la cámara.

DESTRUCCIÓN

En el caso de un gas fluorado de efecto invernadero, la «destrucción» se refiere al proceso a través del cual todos o la mayoría de los compuestos son transformados de manera permanente, o descompuestos en sustancias más estables que no constituyen gases de efecto invernadero.

DIÓXIDO DE TITANIO (TiO₂)

El dióxido de titanio es el más importante de los pigmentos blancos. Su principal utilización se da en la fabricación de pinturas, seguido por la fabricación de papel, plásticos, gomas, cerámicas, tejidos, revestimientos de pisos, tinta de imprenta y otros usos varios.

DISYUNTOR

Dispositivo mecánico de conmutación capaz de establecer, mantener o interrumpir la corriente según las condiciones normales de funcionamiento de un circuito, de mantenerla por un tiempo determinado y de interrumpir la corriente según las condiciones de funcionamiento anormales especificadas, tales como las de un corto circuito.

EFICIENCIA DE DESTRUCCIÓN O REMOCIÓN (DRE, DEL INGLÉS, DESTRUCTION O REMOVAL EFFICIENCY)

La eficiencia de destrucción o remoción (DRE) significa la eficiencia de un dispositivo de control para destruir o remover todos los contaminantes pertinentes, expresada como una fracción decimal (sobre la base de la cantidad de carbono o de equivalente-CO₂). El DRE es igual a uno menos la razón entre la cantidad de todos los contaminantes pertinentes que salen y de los que entran en el dispositivo de control. Los contaminantes pertinentes son los gases de efecto invernadero cubiertos por estas Directrices, (véase Volumen 1, Capítulo 8), incluidos aquellos que se forman durante el proceso de destrucción.

EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN

Cantidad de gases fluorados de efecto invernadero recuperados de los equipos dividida por la cantidad de gases fluorados de efecto invernadero que permanecen en los equipos luego del mantenimiento o del desmantelamiento (fin de vida útil).

EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN Y DESTRUCCIÓN (RDE, DEL INGLÉS, RECOVERY AND DESTRUCTION EFFICIENCY)

Se emplea este término principalmente en el contexto de las espumas, para designar un método que define la eficiencia global de la recuperación y destrucción de los gases fluorados de efecto invernadero incorporados a las espumas u otros productos, justo antes de comenzar el proceso de recuperación. De acuerdo con este método, esta medida toma en consideración todas las pérdidas asociadas con el proceso de recuperación, así como con el de destrucción. En esto se distingue, entonces, de la Eficiencia de destrucción (DE, del inglés, *Destruction Efficiency*) y de la Eficiencia de destrucción y remoción (DRE, del inglés, *Destruction & Removal Efficiency*), las cuales se limitan solamente a la actividad de la planta de destrucción. Más información sobre este término está disponible en *UNEP Task Force Report on Foam End-of-Life issues* (2005).

EQUIPOS DE MANEJO DE ÚLTIMA GENERACIÓN

Equipos que manipulan el SF₆ en cualquier etapa del ciclo de vida útil de un equipo, de tal modo que se minimicen las emisiones de SF₆. Tales equipos incluyen generalmente un compresor, una bomba de vacío, unidades filtrantes, un recipiente de almacenamiento, un evaporador, mangueras y sus conexiones, tuberías y juntas, instrumentos de control y válvulas de seguridad de cierre automático. Lo más importante en relación con la recuperación de las emisiones es la capacidad técnica de la bomba de vacío, la cual debe estar diseñada para evacuar gases hasta una presión tan baja como 1 mbar. Esta capacidad, si se utiliza adecuadamente, mantendrá las pérdidas de manejo por debajo del 2% de la capacidad nominal de los equipos.

EQUIPOS ELÉCTRICOS

Todo elemento utilizado para propósitos tales como la generación, la conversión, la transmisión, la distribución o la utilización de la energía eléctrica, entre los cuales se cuentan las máquinas, los transformadores, los aparatos, los instrumentos de medida, los dispositivos de protección y los sistemas de cableado. La mayor parte del hexafluoruro de azufre (SF₆) utilizado en los equipos eléctricos se emplea en conmutadores y subestaciones con aislación de gas (GIS, del inglés, *Gas-Insulated Substations*) y en los disyuntores a gas (GCB, del inglés, *Gas Circuit Breakers*). Sin embargo, se utiliza parte del SF₆ en líneas de alta tensión con aislación de gas (GIL, del inglés, *Gas-Insulated Lines*), en transformadores para aparatos de medida externos con aislación de gas y en otros equipos. Además, en algunas regiones, se usan los perfluorocarbonos (PCF) en los transformadores de potencia.

EQUIPO HERMÉTICO

Sistema de presión sellado.

EMISIONES DE DESECHO (PARA LOS EFECTOS DEL CAPÍTULO 8)

Emisiones de gases fluorados de efecto invernadero que ocurren durante la eliminación o el desmantelamiento de equipos. En el método de Nivel 2 (ecuación 8.2), las emisiones de desecho son definidas de tal manera que incluyan las emisiones asociadas con la recuperación y el reciclado de gases, así como el gas que no es reciclado. En el método de Nivel 3 (Ecuaciones 8.7A y 8.7B), las emisiones de desecho son definidas de modo que incluyan las emisiones asociadas con la recuperación del gas (Las emisiones asociadas con el reciclado y la destrucción son tomadas en cuenta en ecuaciones separadas de Nivel 3.) Las emisiones de desecho, tal como están definidas para los dos Niveles, son sensibles a la fracción de los equipos retirados del uso cuyas cargas son recuperadas (Frecuencia de recuperación) y a la fracción de la carga residual que se recobra al efectuar la recuperación (Eficiencia de recuperación).

EMISIONES DE LA INSTALACIÓN

Emisiones de carga iniciales que ocurren en el sitio de instalación y utilización de los equipos, antes de la puesta en marcha del equipo.

EMISIONES DE LLENADO EN FÁBRICA

Emisiones que ocurren durante el llenado inicial de los equipos, ya sea en la fábrica o en el sitio de instalación y utilización de los equipos, según lo que sea aplicable.

EMISIONES DEL MONTAJE

Emisiones durante la instalación de una planta.

EMISIONES DE USO (PARA LOS EFECTOS DEL CAPÍTULO 8)

Emisiones provenientes de una pieza o tipo de equipo entre el momento de su instalación y el de su eliminación, o entre el de la instalación y el momento de la recarga final, según el contexto. Las emisiones de uso incluyen las emisiones durante la operación, el mantenimiento y el servicio de los equipos, así como las emisiones asociadas con las fallas de dichos equipos. Las emisiones de uso incluyen las fugas, pero son significativamente más grandes, en particular cuando no se emplean equipos de manejo de última generación. En las presentes Directrices, las emisiones de uso asociadas con el método de los factores de emisión (Nivel 1, 2 y la variante del factor de emisión del Nivel 3) incluyen las emisiones de uso final. Por el contrario, las emisiones de uso asociadas con el método del equilibrio de masas (la variante equilibrio de masas del Nivel 3) excluyen a las emisiones de uso final.

EMISIONES DE USO FINAL

Emisiones que ocurren entre el momento de la última recarga del equipo y el de su eliminación. Éstas pueden constituir una parte significativa del total de las emisiones, particularmente si el equipo posee un bajo índice de fugas y se recarga de manera poco frecuente.

EMISIONES EN LA FABRICACIÓN

Emisiones que ocurren en las instalaciones y bajo la responsabilidad del fabricante de los equipos, incluidas las emisiones provenientes de las fases de investigación y desarrollo, de pruebas y de llenado con cargas operacionales y de retención.

ESCORIA (SLAG)

Producto derivado de los silicatos o coproducto del fundido de metales. La fuente más importante de escorias es la industria del hierro y el acero. La escoria se forma por la interacción de agentes de escorificación (y/o agentes fundentes, tales como sílice con piedra caliza y/o dolomita y/o cal) con los minerales metálicos.

ESCISIÓN AL VAPOR

Reacción entre los hidrocarburos saturados (p. ej., el etano) y el vapor de agua (H₂O) en un horno, con el fin de producir hidrocarburos no saturados (p. ej., el etileno).

ESPÍRITU BLANCO

Destilados refinados intermedios obtenidos de una destilación en el rango de la nafta y/o queroseno entre 135 °C y 200 °C. Por contraste, los espíritus industriales son aceites livianos que se destilan a un punto de ebullición específico (SBP, del inglés, *Specific Boiling Point*), entre 30 °C y 200 °C. Hay 7 u 8 grados de espíritu industrial, según la posición de la temperatura de corte en el rango de destilación. Los grados se definen según la diferencia de temperaturas entre los puntos de destilación de un 5% del volumen y un 90% del volumen (la cual no supera los 60°C). El espíritu blanco es un espíritu industrial con un punto de vaporización parcial superior a los 30°C.

ETANO

Hidrocarburo saturado que se da naturalmente (C₂H₆) y que se extrae de los caudales de gas natural y de gas de refinería. Se lo emplea principalmente para la producción de etileno mediante la escisión por vapor.

EXOTÉRMICA

Dícese de una reacción química en la cual el contenido de energía de los productos es menor al de los reactivos; el sistema genera calor.

FACTOR DE OXIDACIÓN EN USO (FACTOR ODU, DEL INGLÉS, *OXIDISED DURING USE*)

Factor que representa la fracción de carbono de combustible fósil que se oxida durante el uso de productos no energéticos provenientes de combustibles fósiles.

FALLA DEL EQUIPO ELÉCTRICO

Falla mayor o catastrófica de los equipos eléctricos (ocurrida en toda función, excepto en la de contención del gas en sí) cuyo resultado es la aparición de fisuras o de abrasamientos que producen una o más perforaciones en un compartimento de gas, con la consecuente liberación de la carga de dicho compartimento.

FERROALEACIÓN

Ferroaleación es el término empleado para describir las aleaciones concentradas de hierro y uno o más metales, tales como silicio, manganeso, cromo, molibdeno, vanadio y tungsteno. La producción de silicio metálico se incluye generalmente en el grupo de las ferroaleaciones, pues el proceso de producción del silicio metálico es similar al del ferrosilicio. Estas aleaciones se utilizan para desoxidar y alterar las propiedades materiales del acero.

FRECUENCIA DE RECUPERACIÓN

Fracción de los equipos cuya carga se recupera antes de que los equipos sean abiertos para efectuar el mantenimiento o que sean eliminados al término de su vida útil.

FUGAS

Emisiones provenientes de una pieza o de un tipo de equipo durante su funcionamiento bajo condiciones normales de operación, excepto las emisiones resultantes del mantenimiento, del servicio y de las fallas del equipo eléctrico.

GAS DE COLA

Gas de escape de un proceso químico.

GAS DE HORNO DE COQUE

Se obtiene como un producto derivado de las operaciones de carbonización y gasificación de los combustibles sólidos realizadas por los productores de coque y por las plantas de hierro y acero que no están conectadas con centrales de gas ni con plantas de gas municipales.

GAS DE HORNO DE OXÍGENO PARA ACEROS

Gas obtenido como producto derivado de la producción de acero en un horno de oxígeno (u horno básico de oxígeno): se recupera a la salida del horno. Este gas se sopla también como gas de convertidor o gas LD (iniciales de *Linz-Donawitz*). Los datos deben corresponder a la cantidad de gas utilizado para la producción de

electricidad o en los casos en que se recupere calor de desecho a partir del gas y se venda a terceros. Las cantidades de este gas deben ser incluidas en las del gas de alto horno.

GAS DE PURGA

Caudal de gas separado del caudal de un proceso químico para retirar impurezas provenientes del proceso, el cual incluye compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono, hidrógeno u otros compuestos. El gas de purga puede quemarse para recuperar energía, quemarse en la antorcha, o bien puede utilizarse para recuperar productos secundarios.

GAS DE SÍNTESIS

Mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono, utilizado para producir metanol y otros productos químicos.

HIERRO REDUCIDO DIRECTAMENTE

Denominado también «hierro esponjoso», es un producto de hierro metálico obtenido mediante la reducción directa de granulados de mineral de hierro de alta ley realizada por debajo del punto de fusión del hierro. El hierro se reduce en su estado sólido, sin conversión previa al estado líquido como sucede en un alto horno.

HIERRO BRIQUETADO EN CALIENTE

Hierro reducido directamente convertido en briquetas, generalmente para facilitar el transporte del material.

HORNO DE SOLERA

Conocido también como horno de reverbero, el horno de solera consiste en una amplia cámara en forma de platillo cubierta por una bóveda baja de ladrillo refractario. El arrabio, la piedra caliza y la chatarra se cargan en el corazón del horno y se calientan con quemadores en posición superior mediante aire precalentado y luego el horno se carga con arrabio fundido, el cual es calentado aún más para producir acero. Por lo general, los quemadores se alimentan con gas.

HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO (EAF, DEL INGLÉS, *ELECTRIC ARC FURNACES*)

Tipo principal de horno por lotes para la producción eléctrica del acero. La aplicación principal del EAF es la de la refundición de la chatarra de acero. Sin embargo, se pueden cargar los EAF con cantidades limitadas de chatarra de hierro, arrabio y hierro reducido directo. Se provee el calor a partir de la electricidad mediante un arco eléctrico formado entre los electrodos de grafito y el baño de metal. Los electrodos suelen ser de grafito o de pasta Soderberg (carbono). También se utilizan los EAF para otras aplicaciones metalúrgicas, tales como la producción de ferroaleaciones y otras similares (carburo de silicio).

HORNO BÁSICO DE OXÍGENO (BOF, DEL INGLÉS, *BASIC OXYGEN FURNACE*)

Los hornos básicos de oxígeno son los medios principales para la fabricación del arrabio y de la chatarra de acero. El oxígeno es soplado dentro de la carga fundida para oxidar el carbono contenido en el hierro (cerca de un 4%) y reducirlo a los niveles requeridos para el acero (cerca de un 0,5%). El dióxido de carbono y el monóxido de carbono producidos son extraídos por el sistema de extracción de gases y de polvos. El proceso de oxidación calienta la carga fundida y ayuda a fundir la chatarra de acero agregada. Los hornos básicos de oxígeno se denominan también en inglés «*LD-converters*» (o «*Linz-Donawitz converter*»: convertidor de Linz-Donawitz) en referencia al proceso de fabricación de acero de «*Linz-Donawitz*» desarrollado inicialmente en Austria.

INCINERACIÓN CATALÍTICA

Oxidación de compuestos orgánicos que resulta en CO₂ y H₂O mediante el uso de un catalizador metálico en una reacción a baja temperatura. La incineración catalítica se produce a una temperatura inferior a la de la incineración térmica.

ÍNDICE DE EMISIÓN

Corresponde a la cantidad de emisiones producidas durante un proceso, una etapa del ciclo de vida útil, y/o un período determinado de tiempo (por lo general, un año), dividida por los datos sobre actividad pertinente para ese proceso o etapa del ciclo de vida útil. Estos datos corresponden, por ejemplo, al consumo total de productos

químicos necesarios para la fabricación o a la capacidad nominal del equipo respecto de su uso. La unidad preferida es el porcentaje anual.

ÍNDICE DE EMISIÓN DE USO (PARA LOS EFECTOS DEL CAPÍTULO 8)

Cantidad de emisiones de uso a lo largo de un periodo, por lo general un año, dividido por la capacidad nominal del equipo. El índice de emisión de uso incluye las emisiones durante la operación, el mantenimiento y el servicio de los equipos, así como las emisiones asociadas con las fallas de dichos equipos. En general, el índice de emisión de uso es significativamente mayor que el índice de fugas. En estas *Directrices*, el índice de emisión de uso asociada con el método de los factores de emisión (Nivel 1, 2 y la variante del Factor de emisión del Nivel 3) incluye las emisiones de uso final.

ÍNDICE DE FUGAS

Fugas generadas por las piezas o los tipos de equipos a lo largo de un periodo determinado de tiempo, por lo general un año, dividido por la capacidad nominal del equipo. La unidad preferida es el porcentaje anual.

ÍNDICE DE PÉRDIDA

Índice de emisión.

INHALADORES DOSIFICADOS (MDI, DEL INGLÉS, *METERED DOSE INHALERS*) (AEROSOL DE USO MÉDICO)

Un método para administrar medicamentos pulmonares por inhalación.

INTERRUPTOR

Dispositivo mecánico de conmutación capaz de establecer, mantener o interrumpir la corriente según las condiciones normales de funcionamiento de un circuito, p. ej., mantener la corriente nominal de carga. Se le llama también interruptor de rotura de carga para distinguirlo de un disyuntor. Generalmente, los interruptores o interruptores de rotura de carga son utilizados también en combinación con fusibles o con más polos eléctricos en serie en una unidad compuesta tal como las unidades en anillo de una red eléctrica para los efectos de la distribución secundaria.

LÍNEAS CON AISLACIÓN DE GAS

Líneas de transmisión y distribución eléctrica rodeadas de metal, en las cuales el aislamiento se obtiene, al menos parcialmente, mediante un gas aislante a presión atmosférica, exceptuado el aire. Están diseñadas para que la envoltura externa esté conectada a tierra.

MANGUITO (PASAMUROS)

Es un dispositivo que permite pasar uno o varios conductores eléctricos a través de una separación, tal un muro o un depósito, que aísla eléctricamente los conductores respecto del obstáculo. El accesorio de fijación al objeto separador (brida) forma parte del manguito.

METANOL

Conocido también como alcohol metílico, se emplea particularmente como solvente, anticongelante o desnaturizador. Se usa también para la síntesis de otros productos químicos. El metanol producido a partir del gas natural debe ser incluido en las cifras de sustancias para la alimentación a procesos de las refinerías.

MÉTODO DEL EQUILIBRIO DE MASAS (PARA LOS EFECTOS DE LOS CAPÍTULOS 7 Y 8)

Método para estimar las emisiones de gases fluorados de efecto invernadero provenientes del uso en equipos, que puede aplicarse a unidades individuales o a agregaciones de equipos (por ejemplo, por país, por aplicación o por instalación). En este método, las emisiones anuales resultan de la diferencia entre la cantidad de gases consumidos durante el año y la cantidad de gases utilizados para el llenado del aumento neto de la capacidad de los equipos o para reemplazar los gases destruidos.

MÉTODO HÍBRIDO DE LA VIDA ÚTIL

Método de Nivel 3 para estimar las emisiones provenientes de los equipos eléctricos. Este método permite estimar las emisiones por etapas del ciclo de vida útil utilizando un método de factor de emisión, un método de equilibrio de masas o una combinación de ambos, según lo que sea más apropiado en función de la disponibilidad de los datos y de acuerdo con las circunstancias que prevalezcan para países y procesos específicos.

NÚMERO TOTAL DE EQUIPOS

Un inventario de los equipos individuales existentes en una instalación (p. ej., válvulas, bridas) que se utiliza para implementar un programa de detección de fugas.

NEGRO DE HORNO

Tipo de carbono producido industrialmente en un horno, por combustión incompleta, en un proceso ajustable y controlable que rinde una amplia variedad de propiedades en los productos (IUPAC).

NEGRO DE HUMO PARA LA ALIMENTACIÓN A PROCESOS

Aceite aromático pesado que puede obtenerse como producto derivado, ya sea del proceso de refinación del petróleo o del proceso de producción del coque (carbón) metalúrgico.

OLEFINAS

Sinónimo de alquenos. Clase de hidrocarburos de cadena abierta que tiene uno o más enlaces dobles. Este grupo de hidrocarburos posee la fórmula general C_nH_{2n} . Las olefinas se denominan según el nombre de las correspondientes parafinas mediante la posposición de la partícula «eno» o «ileno» a la raíz (p. ej., polietileno, polipropileno). La olefina más simple es el etileno, C_2H_4 .

OXICLORACIÓN

Reacción del etileno (C_2H_4) con ácido clorhídrico (HCl) y oxígeno (O_2) para producir dicloruro de etileno y agua (H_2O).

OXIDACIÓN CATALÍTICA

Se refiere generalmente a la oxidación de sustancias para la alimentación a procesos (p. ej., el gas natural) que produce CO_2 y H_2O mediante el empleo de un catalizador.

PARAFINAS

Sinónimo de los alcanos. En general, la denominación parafina denota particularmente las moléculas (isómeras) de los alcanos que poseen largas cadenas lineales. Véase también «Ceras de parafina».

POLVO DEL HORNO DE CAL (LKD, DEL INGLÉS, *LIME KILN DUST*)

Polvo no calcinado o hasta totalmente calcinado producido en una línea de hornos de cal. Es análogo al CKD, pero el LKD es reciclado sólo muy raramente en el horno de cal. Se puede utilizar el LKD como materia prima en un horno de cemento.

POLVO DE HORNO DE CEMENTO (CKD, DEL INGLÉS, *CEMENT KILN DUST*)

Polvo calcinado total o parcialmente, o bien no calcinado, producido en el horno de altas temperaturas o en la línea de piropesado. El CKD puede ser reciclado parcial o completamente hacia el horno de altas temperaturas.

PROCESO NOMINAL

El proceso nominal denota los valores nominales de las variables de un proceso que gobiernan las especificaciones de rendimiento de los equipos fabricados listos para la venta. Éstos son los valores nominales para los flujos gaseosos, la presión de cámara, la potencia de plasma, etc. Es una práctica común que los fabricantes de dispositivos semiconductores modifiquen estas condiciones para optimizar el proceso para responder a requerimientos específicos.

PROCESO DE NEGRO DE ACETILENO

Proceso de descomposición térmica para producir negro de humo a partir del acetileno.

PROCESO DE NEGRO DE HORNO

Proceso de pirólisis para producir negro de humo a partir de sustancias para la alimentación del proceso de producción de negro de humo y de gas natural.

PROCESO DEL NEGRO TÉRMICO

Proceso de descomposición térmica para producir negro de humo a partir de sustancias para la alimentación del proceso de negro de humo y de gas natural.

PRODUCTO SECUNDARIO

Producto comercial resultado de un proceso químico como complemento de un producto primario resultado del mismo proceso. Por ejemplo, la escisión al vapor en la producción de etileno, genera etileno como producto primario, pero produce también propileno, butadieno y otros productos secundarios comerciales.

PROGRAMA DE DETECCIÓN DE FUGAS

Programa para medir directamente las emisiones provenientes de fuentes de emisiones fugitivas (p. ej., válvulas, bridas) mediante la realización de medidas de emisiones producidas por los equipos individuales de una instalación.

PUZOLANOS

Material silíceo que por sí mismo no tiene las cualidades de un cemento, pero que desarrolla las propiedades de un cemento hidráulico al reaccionar con la cal libre (CaO) y el agua. Los ejemplos más comunes de puzolanos incluyen los puzolanos naturales (p. ej., algunas cenizas volcánicas o pómez, algunas tierras diatomáceas o arcillas) y los puzolanos sintéticos (p. ej., microsíllica, cenizas volantes de centrales termoeléctricas de carbón)

RECONECTORES

Dispositivos automáticos que interrumpen y reconectan un circuito de corriente alterna en una secuencia predeterminada de interrupciones y reconexiones seguidas de una operación de reinicialización, de permanencia en estado conectado o en estado interrumpido del circuito.

REACCIÓN DE DESPLAZAMIENTO

Reacción del monóxido de carbono (CO) con vapor de agua (H₂O) para producir dióxido de carbono (CO₂) e hidrógeno (H₂).

RECUPERACIÓN

Recolección y almacenamiento de gases fluorados de efecto invernadero a partir de los equipos o recipientes.

REDUCTOR

En las Directrices, el término se refiere al uso del carbono como agente reductor en la reducción de los óxidos metálicos en metales, p. ej., hierro y aluminio, en hornos o procesos electrolíticos, y al uso del carbono en la fabricación de productos inorgánicos específicos, p. ej., carburos y ceniza de sosa.

REFORMADO COMBINADO

Combinación del proceso de reformado convencional con la reacción de oxidación catalítica utilizada para producir metanol.

REFORMADO CONVENCIONAL

Combinación de la reacción de reformación por vapor para producir gas de síntesis con la reacción de síntesis del metanol.

REFORMADO POR VAPOR

Proceso de reacción entre un hidrocarburo o alcohol combustible, tal como el gas natural o metanol, y el vapor de agua, con el fin de producir hidrógeno. Por lo general, este es el método preferido para producir hidrógeno a granel. A altas temperaturas (700-1100 °C), el vapor reacciona con el metano (CH₄) y produce gas de síntesis (monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂)).

REFRIGERANTE (REFRIGERACIÓN)

Agente de transferencia de calor, generalmente un líquido, utilizado en equipos tales como refrigeradores, congeladores y aparatos de aire acondicionado.

ROAD OIL (ASFALTO LÍQUIDO DE CURADO LENTO PARA RUTAS)

Designa cualquier fracción pesada del petróleo, incluyendo los aceites residuales asfálticos, que se usan como supresores de polvos o en el tratamiento de superficie en las rutas y autorrutas. Se produce generalmente en seis grados que van del 0, el más líquido, al 5, el más viscoso. Durante muchos años, el *road oil* fue aplicado como supresor de polvos en el recubrimiento de las rutas con grava. Su uso más común se dio en las áreas rurales que a menudo tenían una alta proporción de rutas no pavimentadas y que se situaban a una cierta distancia de los mercados de aceites usados (de quema y de re-refinación). El uso de *road oil* para la supresión de polvos ha bajado en años recientes debido a la disminución de la proporción de rutas no pavimentadas, a la presencia de contaminantes altamente tóxicos en los aceites usados, a la competencia con otras utilidades para los aceites usados (re-refinado) y a los nuevos reglamentos sobre el medioambiente. Es sinónimo de asfalto líquido de curado lento.

SELECTIVIDAD DEL CATALIZADOR

Porcentaje de la sustancia primaria de alimentación que entra al proceso de una reacción catalítica y se convierte en producto primario del proceso.

SISTEMA DE PRESIÓN CERRADO

Equipo eléctrico que requiere recarga periódica con gas (conservación del nivel de llenado) durante su vida útil. Este tipo de equipo suele contener entre cinco y varios centenares de kilogramos por unidad funcional. Los equipos de transmisión entran normalmente dentro de esta categoría. En las últimas normas de la CEI, la hermeticidad de un sistema de presión cerrado en su estado nuevo viene especificada por el índice relativo de fugas de cada compartimento. Los valores estandarizados para el SF₆ son de 0,5% y de 1% anual. Sin embargo, los sistemas de presión cerrados instalados y en uso pueden desarrollar índices significativamente más elevados.

SISTEMA DE PRESIÓN SELLADO

Equipo eléctrico que no requiere ser recargado con gas (conservación del nivel de llenado) durante el periodo de vida útil y que contiene, por lo general, menos de 5 kg de gas por unidad funcional. Los equipos de distribución entran normalmente dentro de esta categoría. Con el fin de garantizar que no habrá necesidad de recargas durante los 40 años (aproximadamente) de vida útil de los equipos, el índice de fugas de los sistemas de presión sellados es inferior al 0,1% anual.

SOLVENTE

Componente de una solución que está presente en una mayor proporción. Se trata de la sustancia en la cual una o más sustancias —los llamados solutos— se hallan disueltas y forman una mezcla homogénea. Un ejemplo de sólido que se disuelve en un líquido es el de la sal o el azúcar en el agua. Pero los gases también pueden disolverse en los líquidos, como el dióxido de carbono en el agua, o bien líquidos y gases pueden disolverse en sí mismos. Los combustibles fósiles utilizados como solventes son, notablemente, el espíritu blanco y el queroseno. El espíritu blanco se emplea como solvente de extracción, de limpieza, de desgrase y como solvente en los aerosoles, pinturas, conservadores de la madera, lacas, barnices y productos asfálticos. El espíritu blanco utilizado en pinturas, lacas y barnices es el solvente más utilizado en la industria de las pinturas.

SUSTANCIAS QUE AGOTAN LA CAPA DE OZONO (ODS, DEL INGLÉS, OZONE-DEPLETING SUBSTANCES)

Sustancias que se sabe agotan la capa estratosférica de ozono. Las ODS que están controladas por el Protocolo de Montreal y sus enmiendas, son los clorofluorocarbonos (CFC), los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), los halones, el bromuro de metilo (CH₃Br), el tetracloruro de carbono (CCl₄), el metil cloroformo (CH₃CCl₃), los hidrobromofluorocarbonos (HBFC) y el bromoclorometano.

TRANSFORMADOR DE POTENCIA

Aparato de naturaleza estática con dos o más bobinas que transforman, por inducción electromagnética, un sistema de tensión y corriente alternas en otro sistema de tensión y corriente, por lo general de valores diferentes e igual frecuencia, para los efectos de transmitir potencia eléctrica.

TRANSFORMADOR (PARA APARATOS) DE MEDIDA

Transformador previsto para alimentar instrumentos de medición, medidores eléctricos, relevadores y otros aparatos similares. Este tipo de transformador convierte los valores originales de tensión y corriente de un sistema en una réplica adaptada para los efectos del procesamiento de datos.

UNIDAD EN ANILLO

Término que describe una pieza estándar de los conmutadores para los efectos de la distribución secundaria en los sistemas de tensión intermedia. Una Unidad en anillo se compone generalmente de interruptores y/o interruptores de rotura de carga para conmutar anillos de administración de cables o de interruptores y/o interruptores de rotura de carga conectados en serie con fusibles de protección en los transformadores de distribución (transformadores de tensiones intermedias a altas).

TRANSISTOR DE PELÍCULA DELGADA (TFT, DEL INGLÉS, *THIN-FILM TRANSISTOR*)

El transistor de película delgada (TFT) es el elemento de circuito que permite la regeneración frecuente de las pantallas planas: es el elemento que controla cada píxel (o elemento de imagen) en el tipo más común de pantallas de matriz activa. Los TFT pueden fabricarse tanto con la tecnología del silicio amorfo sobre sustratos de vidrio, plástico o metal delgado, como con la tecnología del polisilicio a bajas temperaturas (LTFS, del inglés, *Low-Temperature Polysilicon*) sobre sustratos de vidrio o plástico. Se utilizan en las pantallas de cristal líquido (LCD, del inglés, *Liquid Crystal Display*) y cada vez más en las pantallas con diodos emisores de luz de tipo orgánico (OLED, del inglés, *Organic Light Emitting Diode*) y diodos emisores de luz de tipo orgánico a base de polímero (POLED, del inglés, *Polymer Organic Light Emitting Diode*).

TRATAMIENTO TÉRMICO

Combustión de compuestos orgánicos que producen CO₂ y H₂O mediante el uso de una llama en una reacción a altas temperaturas. El tratamiento térmico puede ocurrir con o sin recuperación de energía.

VENTILACIÓN

Liberación controlada de gas natural y de corrientes de gas y vapor de desecho.

Abreviaturas

AGO	Oficina australiana para los gases de efecto invernadero (del inglés, <i>Australian Greenhouse Gas Office</i>)
APME	Asociación de Fabricantes de Plásticos en Europa (del inglés, <i>Association of Plastics Manufacturers Europe</i>)
AWACS	Sistema aerotransportado de alerta y control (del inglés, <i>Airborne Warning and Control System</i>)
BAT	Mejores técnicas disponibles (del inglés, <i>Best Available Techniques</i>)
BFC	Gas de alto horno (del inglés, <i>Blast Furnace Gas</i>)
BOF	Horno básico de oxígeno (del inglés, <i>Basic Oxygen Furnace</i>) (fabricación del acero)
BREF	Documentos de referencia para las Mejores técnicas disponibles (del inglés, <i>Best Available Techniques Reference Documents</i>) (bajo la Oficina europea de Prevención y control integrado de la contaminación, <i>European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau</i>) http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
C4 +	Productos derivados de los hidrocarburos que contienen cuatro o más átomos de carbono (p. ej., butanos, pentanos, hexanos, heptanos)
CaCO ₃	Carbonato de calcio
CaO	Cal viva con fuerte proporción de calcio
Ca(OH) ₂	Cal apagada con fuerte proporción de calcio
Ca(OH) ₂ •Mg(OH) ₂	Cal apagada de dolomita (carbonato natural doble de calcio y de magnesio)
CaO•MgO	Cal de dolomita
CKD	Polvo de horno de cemento (del inglés, <i>Cement Kiln Dust</i>)
CIGRE	Conferencia Internacional sobre Grandes Redes Eléctricas (por sus siglas, <i>International Council on Large Electric Systems</i>)
COG	Gas de horno de coque
DOE	Departamento de la Energía de los Estados Unidos (del inglés, <i>United States Department of Energy</i>)
DRE	Eficiencia de destrucción o remoción (del inglés, <i>Destruction o Removal Efficiency</i>)
DRI	Hierro reducido directamente (del inglés, <i>Direct Reduced Iron</i>)
EAF	Hornos de arco eléctrico (del inglés, <i>Electric Arc Furnaces</i>) (fabricación del acero)
EDC	Dicloruro de etileno (del inglés, <i>Ethylene Dichloride</i>)
EG	Glicol de etileno (del inglés, <i>Ethylene Glycol</i>)
EO	Óxido de etileno (del inglés, <i>Ethylene Oxide</i>)
FEPC	La Federación (japonesa) de compañías de Energía eléctrica (del inglés, <i>Japanese Federation of Electric Power Companies</i>)
FGD	Sistema de desulfuración de los gases de combustión por vía húmeda (del inglés, <i>Flue Gas Desulphurisation</i>)
FgH-ISI	Instituto Fraunhofer (por sus siglas del alemán, en <i>Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung</i>)
GCB	Disyuntores con aislamiento de gas (del inglés, <i>Gas Circuit Breakers</i>)
GIL	Líneas con aislación de gas (del inglés, <i>Gas Insulated Lines</i>)
GIS	Conmutadores y subestaciones con aislación de gas (del inglés, <i>Gas Insulated Switchgear y Substations</i>)
GIT	Transformadores de potencia con aislación de gas (del inglés, <i>Gas Insulated power Transformers</i>)

HBI	Hierro briquetado en caliente (del inglés, <i>Hot Briquetted Iron</i>)
HMA	Alquitrán mezclado en caliente (del inglés, <i>Hot Mix Asphalt</i>)
HV (Switchgear)	Conmutadores de alta tensión para tensiones nominales de servicio superiores a 52.000 voltios (por sus siglas del inglés, en <i>High Voltage Switchgear</i>)
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional (del inglés, <i>International Electro-technical Commission</i>)
ITs	Transformadores (para aparatos) de medida (del inglés, <i>Instrument Transformers</i>)
JEMA	La Asociación de fabricantes eléctricos del Japón (del inglés, <i>Japan Electrical Manufacturer's Association</i>)
LKD	Polvo de horno de cemento (del inglés, <i>Cement Kiln Dust</i>)
LVOC	Producto químico orgánico de gran volumen (del inglés, <i>Large Volume Organic Chemical</i>)
LVIC	Producto químico inorgánico de gran volumen (del inglés, <i>Large Volume Inorganic Chemical</i>)
MgCO ₃	Carbonato de magnesio
MV (Switchgear)	Conmutadores de tensiones intermedias para tensiones nominales de servicio superiores a 1.000 voltios y hasta 52.000 voltios (del inglés, en <i>Medium Voltage Switchgear</i>)
OHF	Horno de solera (del inglés, en <i>Open Hearth Furnace</i>)
PC	Cemento Portland (del inglés, en <i>Portland cement</i>)
PECVD	Depósito químico en fase vapor asistido por plasma (del inglés, <i>Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition</i>)
RDE	Eficiencia de recuperación y destrucción (del inglés, <i>Recovery y Destruction Efficiency</i>)
TFT	Transistor de película delgada (del inglés, <i>Thin-film transistor</i>)
VCM	Monómero de cloruro de vinilo (del inglés, <i>Vinyl Chloride Monomer</i>)