

3

PROCESOS INDUSTRIALES

COPRESIDENTES, EDITORES Y EXPERTOS

Copresidentes de la Reunión de expertos sobre las emisiones procedentes de procesos industriales y los nuevos gases

Wei Zhihong (China) y Steve Seidel (Estados Unidos)

EDITOR REVISOR

Audun Rosland (Noruega)

Grupo de expertos: Emisiones de CO₂ procedentes de la industria

COPRESIDENTE

Milos Tichy (República Checa)

AUTORES DE DOCUMENTOS DE ANTECEDENTES

David Connelly (Estados Unidos), Michael Gibbs (Estados Unidos) y P. Soyka (Estados Unidos)

AUTORES COLABORADORES

Wiley Barbour (Estados Unidos), Stanislav Bogdanov (Bulgaria), Marvin Branscome (Estados Unidos), Michael Gibbs (Estados Unidos), Virginia Gorsevski (Estados Unidos), Taka Hiraishi (Japón), Heike Mainhardt (Estados Unidos), Joe Mangino (Estados Unidos), Katharina Mareckova (IPCC/OCDE), Julia Martínez (México), Michael Miller (Estados Unidos), Jos Olivier (Países Bajos), Astrid Olsson (Suecia), Hendrik van Oss (Estados Unidos), Newton Paciornik (Brasil), Kristin Rypdal (Noruega), Arthur Rypinski (Estados Unidos), Michael Strogies (Alemania), Pieter du Toit (Sudáfrica) y Matthew Williamson (Estados Unidos)

Grupo de expertos: Emisiones de N₂O procedentes de la producción de ácido adípico y ácido nítrico

COPRESIDENTE

Mack McFarland (Estados Unidos)

AUTORES DE DOCUMENTOS DE ANTECEDENTES

Heike Mainhardt (Estados Unidos) y Ron Reimer (Estados Unidos)

AUTORES COLABORADORES

Wiley Barbour (Estados Unidos), Stanislav Bogdanov (Bulgaria), Taka Hiraishi (Japón), Joe Mangino (Estados Unidos), Jos Olivier (Países Bajos), Astrid Olsson (Suecia), Michael Strogies (Alemania), Milos Tichy (República Checa) y Matt Williamson (Estados Unidos)

Grupo de expertos: Emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio

COPRESIDENTES

Michael Atkinson (Australia) y William Agyemang-Bonsu (Ghana)

AUTORES DE DOCUMENTOS DE ANTECEDENTES

Vikram Bakshi (Estados Unidos), Eric J. Dolin (Estados Unidos), Michael J. Gibbs (Estados Unidos), Karen Lawson y Diana Pape (Estados Unidos)

AUTORES COLABORADORES

Vikram Bakshi (Estados Unidos), Willy Bjerke (Reino Unido), Guy Bouchard (Canadá), Eric Dolin (Estados Unidos), Jochen Harnisch (Alemania), Purushottam Kunwar (Nepal), Bernard Leber (Estados Unidos), Philippe Lévassieur (Francia), Petra Mahrenholz (Alemania), Jerry Marks (Estados Unidos), John Pullen (Australia), Sally

Rand (Estados Unidos), Emmanuel Rivière (Francia), Kristin Rypdal (Noruega), Deborah Ottinger-Schaefer (Estados Unidos) y Kiyoto Tanabe (Japón)

Grupo de expertos: Emisiones SF₆ procedentes de la producción de magnesio

COPRESIDENTES

Bill Palmer (Canadá) y Pieter de Toit (Sudáfrica)

AUTOR DE UN DOCUMENTO DE ANTECEDENTES

Bill Palmer (Canadá)

AUTORES COLABORADORES

Kay Abel (Australia), Scott Bartos (Estados Unidos), Lowell Brothers (Estados Unidos), Kathryn Ellerton (Estados Unidos), William Irving (Estados Unidos), Toshiaki Ohgita (Japón), Natalya Parasyuk (Ucrania), Takuya Suizu (Japón), Tom Tripp (Estados Unidos) y Chen Zhenlin (China)

Grupo de expertos: Emisiones de SF₆ procedentes de equipos eléctricos y otras fuentes

Copresidentes

Jos Olivier (Países Bajos) y Newton Paciornik (Brasil)

AUTORES DE DOCUMENTOS DE ANTECEDENTES

Jos G.J. Olivier (Países Bajos) y Joost Bakker (Países Bajos)

AUTORES COLABORADORES

Rainer Bitsch (Alemania), Lowell Brothers (Estados Unidos), Eric Dolin (Estados Unidos), Kathryn Ellerton (Estados Unidos), Jochen Harnisch (Alemania), Petra Mahrenholtz (Alemania), Bill Palmer (Canadá), Natalya Parasyuk (Ucrania), Ewald Preisegger (Alemania), Michael Strogies (Alemania), Takuya Suizu (Japón) y Chen Zhenlin (China)

Grupo de expertos: Emisiones de PFC, HFC y SF₆ procedentes de la fabricación de semiconductores

COPRESIDENTES

Alexey Kokorin (Federación de Rusia) y Sally Rand (Estados Unidos)

AUTORES DE DOCUMENTOS DE ANTECEDENTES

Scott Bartos (Estados Unidos) y C. Shepherd Burton (Estados Unidos)

AUTORES COLABORADORES

Kenneth Aitchison (Estados Unidos), Scott Bartos (Estados Unidos), Laurie Beu (Estados Unidos), Shepherd Burton (Estados Unidos), David Green (Estados Unidos), Philippe Levasseur (Francia), Michael Mocella (Estados Unidos), Jerry Meyers (Estados Unidos), Toshiaki Ohgita (Japón), Emmanuel Rivière (Francia), Deborah Ottinger Schaefer (Estados Unidos) y Pieter du Toit (Sudáfrica)

Grupo de expertos: Emisiones de sustitutos de sustancias destructoras del ozono (sustitutos de SDO)

COPRESIDENTES

Archie McCulloch (Reino Unido) y Reynaldo Forte Jr. (Estados Unidos)

AUTORES DE DOCUMENTOS DE ANTECEDENTES

Reynaldo Forte, Jr. (Estados Unidos), Archie McCulloch (Reino Unido) y Pauline Midgley (Reino Unido)

AUTORES COLABORADORES

Radhy Agarwal (India), Paul Ashford (Reino Unido), Ward Atkinson (Estados Unidos), James Baker (Estados Unidos), Pierre Boileau (Canadá), Marvin Branscome (Estados Unidos), Margreet van Brummelen (Países Bajos), Nick Campbell (Reino Unido), Anita Cicero (Estados Unidos), Denis Clodic (Francia), Yuichi Fujimoto (Japón), Francis Grunhard (Bélgica), Toshio Hirata (Japón), Niklas Höhne (Secretaría de la CMCC), Eliisa Irpola (Finlandia), Mike Jeffs (Bélgica), Fred Keller (Estados Unidos), Alexey Kokorin (Federación de Rusia), Candido Lomba (Brasil), Julia Martínez (México), Thomas Martinsen (IPCC/OCDE), Arthur Naujock (Estados Unidos), Yutaka Obata (Japón), John Owens (Estados Unidos), Christophe Petitjean (Francia), Marit Viktoria Pettersen (Noruega), Ewald Preisegger (Alemania), Erik Rasmussen (Dinamarca), Masataka Saburi (Japón), Deborah Ottinger Schaefer (Estados Unidos), Stephen Seidel (Estados Unidos), Len Swatkowski (Estados Unidos), Dwayne Taylor (Estados Unidos), Gary Taylor (Canadá), Daniel Verdonik (Estados Unidos) y Duncan Yellen (Reino Unido)

Grupo de expertos: Estimación de las emisiones de HFC-23 procedentes de la fabricación de HCFC-22**COPRESIDENTES**

Nick Campbell (Reino Unido) y Julia Martínez (México)

AUTORES DE DOCUMENTOS DE ANTECEDENTES

Marvin Branscombe (Estados Unidos) y William Irving (Estados Unidos)

AUTORES COLABORADORES

Marvin Branscome (Estados Unidos), Mark Christmas (Estados Unidos), Taka Hiraishi (Japón), William Irving (Estados Unidos), Stephen Seidel (Estados Unidos), Matthew Williamson (Estados Unidos) y Wei Zhihong (China)

Índice

3 PROCESOS INDUSTRIALES

PANORAMA GENERAL	3.9
3.1 EMISIONES DE CO ₂ PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA	3.10
3.1.1 Producción de cemento	3.10
Apéndice 3.1.1A.1 Definiciones de los tipos de cemento.....	3.19
3.1.2 Producción de cal.....	3.21
3.1.3 Industria siderúrgica.....	3.26
3.2 EMISIONES DE N ₂ O PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ADÍPICO Y ÁCIDO NÍTRICO	3.33
3.2.1 Aspectos metodológicos.....	3.33
3.2.2 Presentación de datos y documentación.....	3.40
3.2.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios.....	3.40
3.3 EMISIONES DE PFC PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO.....	3.42
3.3.1 Aspectos metodológicos.....	3.42
3.3.2 Presentación de datos y documentación.....	3.50
3.3.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios.....	3.51
3.4 EMISIONES DE SF ₆ PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE MAGNESIO	3.53
3.4.1 Aspectos metodológicos.....	3.53
3.4.2 Presentación de datos y documentación.....	3.56
3.4.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios.....	3.56
3.5 EMISIONES DE SF ₆ PROCEDENTES DE EQUIPOS ELÉCTRICOS Y OTRAS FUENTES.....	3.58
3.5.1 Equipos eléctricos	3.58
3.5.2 Otras fuentes de SF ₆	3.69
3.5.3 Producción de SF ₆	3.74
3.6 EMISIONES DE PFC, HFC, SF ₆ PROCEDENTES DE LA FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES.....	3.76
3.6.1 Aspectos metodológicos.....	3.76
3.6.2 Presentación de datos y documentación.....	3.85
3.6.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios.....	3.86
3.7 EMISIONES DE SUSTITUTOS DE LAS SUSTANCIAS DESTRUCTORAS DEL OZONO (SUSTITUTOS DE SDO).....	3.87
3.7.1 Panorama general (3.7.1 a 3.7.7).....	3.87
3.7.2 Cuestiones metodológicas generales para todas las subcategorías de fuentes de sustitutos de SDO	3.87
3.7.3 Presentación de datos y documentación para todas las subcategorías de fuentes de sustitutos de SDO	3.93

3.7.4	Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios para todas las subcategorías de fuentes de sustitutos de SDO	3.93
3.7.5	Subcategoría de fuentes de los aerosoles	3.95
3.7.6	Subcategoría de fuentes de los solventes	3.99
3.7.7	Subcategoría de fuentes de las espumas.....	3.103
3.7.8	Subcategoría de fuentes de la refrigeración fija	3.111
3.7.9	Subcategoría de fuentes de la climatización móvil	3.119
3.7.10	Subcategoría de fuentes de la protección contra incendios.....	3.127
3.7.11	Subcategoría de fuentes de otras aplicaciones	3.132
3.8	ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE HFC-23 PROCEDENTES DE LA FABRICACIÓN DE HCFC-22	3.135
3.8.1	Aspectos metodológicos.....	3.135
3.8.2	Presentación de datos y documentación.....	3.139
3.8.3	Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios.....	3.139
	REFERENCIAS	3.141

Figuras

Figura 3.1	Árbol de decisiones para estimar las emisiones de CO ₂ procedentes de la producción de cemento.....	3.11
Figura 3.2	Árbol de decisiones para la producción de cal	3.22
Figura 3.3	Árbol de decisiones para la industria siderúrgica.....	3.29
Figura 3.4	Árbol de decisiones para las emisiones de N ₂ O procedentes de la producción de ácido adípico y de ácido nítrico.....	3.35
Figura 3.5	Árbol de decisiones para las emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio	3.43
Figura 3.6	Árbol de decisiones para las emisiones de SF ₆ procedentes de la producción de magnesio.....	3.54
Figura 3.7	Árbol de decisiones para el SF ₆ procedente de equipos eléctricos.....	3.59
Figura 3.8	Árbol de decisiones para otros usos del SF ₆	3.70
Figura 3.9	Árbol de decisiones para la producción de SF ₆	3.75
Figura 3.10	Árbol de decisiones para las emisiones de compuestos fluorados procedentes de la fabricación de semiconductores.....	3.77
Figura 3.11	Árbol de decisiones generalizado para todos los sustitutos de sustancias destructoras del ozono	3.88
Figura 3.12	Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de los aerosoles	3.96
Figura 3.13	Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de los solventes	3.100
Figura 3.14	Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de las espumas	3.105

Figura 3.15	Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de la refrigeración	3.112
Figura 3.16	Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) de la subcategoría de fuentes móviles de la climatización.....	3.120
Figura 3.17	Árbol de decisiones para las emisiones de sustitutos de SDO procedentes de la subcategoría de fuentes de la protección contra incendios.....	3.129
Figura 3.18	Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de otras aplicaciones	3.133
Figura 3.19	Árbol de decisiones para las emisiones de HFC-23 procedentes de la producción de HCFC-22	3.137

Cuadros

Cuadro 3.1	Porcentaje de clínca en la producción de mezclas de cemento	3.15
Cuadro 3.2	Ejemplo de estimación de las incertidumbres en los cálculos de emisiones de CO ₂ procedentes de la producción de cemento basados en las etapas de la figura 3.1	3.16
Cuadro 3.3A	Ejemplos de la fracción de clínca en "recetas" de cemento mixto (basados en las normas de los Estados Unidos)	3.19
Cuadro 3.3B	Clasificación de los tipos de cemento (basada en las normas europeas (DIN 1164, parte 1)).....	3.19
Cuadro 3.4	Parámetros básicos para calcular los factores de emisión para la producción de cal	3.23
Cuadro 3.5	Corrección de los datos de actividad para la cal hidratada.....	3.24
Cuadro 3.6	Factores de emisión del CO ₂ para la producción de metales (tonelada métrica de CO ₂ /tonelada métrica de agente reductor).....	3.30
Cuadro 3.7	Factores por defecto para la producción de ácido adípico	3.37
Cuadro 3.8	Factores por defecto para la producción de ácido nítrico.....	3.38
Cuadro 3.9	Coefficientes por defecto para calcular las emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio (métodos de nivel 2).....	3.48
Cuadro 3.10	Factores de emisión y rangos de incertidumbre por defecto para calcular las emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio (por tipos de tecnología).....	3.48
Cuadro 3.11	Información sobre buenas prácticas para la presentación de las emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio, por niveles.....	3.51
Cuadro 3.12	Factores de emisión por defecto para las emisiones de SF ₆ procedentes de equipos eléctricos – nivel 2 (fracción de SF ₆ /año)	3.63
Cuadro 3.13	Incertidumbres en los factores de emisión por defecto para las emisiones de SF ₆ procedentes de equipos eléctricos	3.67
Cuadro 3.14	Buena práctica en la información para la presentación de las emisiones de SF ₆ procedentes de equipos eléctricos, por niveles.....	3.68
Cuadro 3.15	Factores de emisión por defecto para las emisiones de HFC, PFC y SF ₆ procedentes de la fabricación de semiconductores.....	3.81
Cuadro 3.16	Información necesaria para la plena transparencia de las estimaciones de las emisiones procedentes de la fabricación de semiconductores.....	3.86
Cuadro 3.17	Factores de emisión por defecto para los HFC/PFC procedentes de la espuma de poro cerrado	3.106

Cuadro 3.18	Factores de emisión por defecto para las aplicaciones de HFC-134a (subcategoría de fuentes de las espumas) (derivados de la información existente sobre CFC/HFC acumulada en investigaciones nacionales e internacionales)	3.106
Cuadro 3.19	Factores de emisión por defecto para las aplicaciones de HFC-245a/HFC-365mfc (subcategoría de fuentes de las espumas) – (derivados de la información existente sobre CFC/HFC acumulada en investigaciones nacionales e internacionales)	3.107
Cuadro 3.20	Uso de sustitutos de SDO en la industria de la espumación (emisiones de productos de espumas, por gases sustitutos de SDO)	3.109
Cuadro 3.21	Documentación de la buena práctica para la refrigeración fija	3.117
Cuadro 3.22	Las mejores estimaciones (dictamen de expertos) sobre carga, vida útil y factores de emisión para los equipos de refrigeración fijos	3.118
Cuadro 3.23	Parámetros de emisión por defecto para los sustitutos de SDO procedentes de la subcategoría de fuentes de la MAC (enfoque de abajo a arriba).....	3.122
Cuadro 3.24	Parámetros de emisión por defecto para los sustitutos de SDO procedentes de la subcategoría de fuentes de la MAC (enfoque de arriba a abajo).....	3.124
Cuadro 3.25	Buenas prácticas en la documentación para la climatización móvil.....	3.126
Cuadro 3.26	Parámetros de emisión por defecto del IPCC para la subcategoría de fuentes de la protección contra incendios (enfoque de abajo a arriba).....	3.130
Cuadro 3.27	Parámetros de emisión por defecto del IPCC para las aplicaciones contenidas (subcategoría de fuentes de otras aplicaciones)	3.134

3 PROCESOS INDUSTRIALES

PANORAMA GENERAL

En este capítulo se tratan las categorías de fuentes procedentes de los procesos industriales que se describen en las *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996 (Directrices del IPCC)*. Se brinda *orientación sobre buenas prácticas* con respecto a las principales categorías de fuentes de emisiones: la producción de cemento, la producción de cal, la industria siderúrgica, la producción de ácido adípico y ácido nítrico, la producción de aluminio, la producción de magnesio, las emisiones de hexafluoruro de azufre (SF₆) procedentes de los equipos eléctricos y de otras fuentes, las emisiones de perfluorocarbonos (PFC), hidrofluorocarbonos (HFC) y SF₆ procedentes de la fabricación de semiconductores, las emisiones de sustitutos de las sustancias destructoras del ozono (sustitutos de SDO), que abarcan siete subcategorías de fuentes, y la fabricación de HCFC-22.

Aún no se ha preparado *orientación sobre buenas prácticas* para las siguientes categorías de fuentes descritas en las *Directrices del IPCC*, Capítulo 2, “Procesos industriales”: el uso de caliza y dolomita (comprendido el uso en la industria siderúrgica), la producción y el uso de sosa comercial, la producción y el uso de productos minerales varios, la producción de amoníaco, la producción de carburos, la producción de otras sustancias químicas, las ferroaleaciones, las emisiones de CO₂ procedentes del aluminio, la producción de otros metales, el SF₆ utilizado en las fundiciones de aluminio y magnesio, las industrias de pasta y papel y las industrias alimentarias y de bebidas. Los organismos encargados de los inventarios deberían seguir usando, por supuesto, las *Directrices del IPCC* para esas categorías de fuentes. También pueden aplicarse a esas categorías de fuentes las partes correlativas de las *orientaciones sobre buenas prácticas* que figuran en los capítulos 6 a 8 y en los anexos.

Según las *Directrices del IPCC*, todas las emisiones de HFC, PFC y SF₆ – incluso las que se producen en sectores no industriales – deberían incluirse en el sector de los procesos industriales (véase la orientación que se describe en las secciones 3.3 a 3.8). En cada ecuación de emisiones debería considerarse la “cantidad de destrucción”. Actualmente, existen pocas prácticas de tratamientos que destruyan los HFC, los PFC o el SF₆. Pero en el futuro podrán elaborarse tratamientos con el fin de reducir esas emisiones.

Para mayor claridad, se introducen a veces en este capítulo cifras de nivel como nombres alternativos para los métodos que se describen en las *Directrices del IPCC* pero no están numerados. Además, se han descrito en algunos casos otros niveles mediante el procedimiento de definir la *orientación sobre buenas prácticas* para una categoría de fuentes determinada. Para las categorías de fuentes en los procesos industriales, el enfoque por niveles, tal como se describe en las secciones y en los árboles de decisiones, debería interpretarse del modo siguiente (véase la orientación que figura en la sección 7.2, “Determinación de las categorías principales de fuentes nacionales” del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”).

- Si la categoría de fuentes no es una *categoría principal de fuentes*, pero los datos y recursos del organismo encargado del inventario permiten calcular las emisiones con métodos de nivel 2 o superiores, se alienta, por supuesto, al organismo encargado del inventario a que proceda así (en vez de aplicar el enfoque de nivel 1).
- Si la categoría de fuentes es una *categoría principal de fuentes*, pero el organismo encargado del inventario no puede reunir los datos y usar el método (o nivel) sugerido como *buen práctica*, se considera *buen práctica* usar el método de nivel 1 para calcular las emisiones y documentar la razón por la cual se usa ese método.

3.1 EMISIONES DE CO₂ PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA

En las *Directrices del IPCC*, Vol. 3, sección 2.1, “Panorama general de los procesos industriales”, se han identificado la separación entre los usos como materia prima y para la producción de energía y la identificación de todo subproducto de combustible procedente de procesos, como áreas particularmente difíciles en la elaboración de estadísticas sobre la energía. Para evitar la contabilidad por partida doble o las omisiones del dióxido de carbono (CO₂), los compiladores de las emisiones relacionadas con la energía y con la industria deberían cooperar estrechamente y comparar sus datos básicos sobre el uso de combustible. Es particularmente importante una estrecha cooperación en la industria siderúrgica, donde, según las *Directrices del IPCC*, el consumo de coque (o carbón) se considera industrial, ya que el principal objetivo de la oxidación del coque (o carbón) es producir arrabio, no producir calor de proceso. Otra área posible de contabilidad por partida doble son las “emisiones de CO₂ procedentes del uso de caliza y dolomita”, que deberían incluirse en su sección específica (*Directrices del IPCC*, Vol. 3, sección 2.5, “Uso de caliza y dolomita”), no en otras categorías de fuentes de procesos industriales de las *Directrices del IPCC* donde se menciona su uso, como la subcategoría de las fuentes siderúrgicas.

3.1.1 Producción de cemento

3.1.1.1 Aspectos metodológicos

Se desprenden emisiones de CO₂ durante la producción de *clínca* (escoria de cemento), que es un componente intermedio en el proceso de fabricación del cemento. Durante la producción de clínca, se calienta (calcina) caliza, que es principalmente (95%) carbonato de calcio (CaCO₃), para producir cal (CaO) y CO₂ como subproductos. Luego el CaO reacciona con los óxidos de sílice, aluminio y hierro de la materia prima para formar los minerales de la clínca (que son en gran medida silicatos de calcio hidráulicos), pero esas reacciones no emiten más CO₂. El principal desafío para estimar las emisiones de CO₂ procedentes de la producción de cemento consiste en superar la dificultad de que tanto la fracción de clínca en el cemento como el contenido de CaO en la clínca pueden variar.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

En el árbol de decisiones de la figura 3.1, “Árbol de decisiones para estimar las emisiones de CO₂ procedentes de la producción de cemento”, se describe la *buena práctica* para elegir el método más apropiado. Como se desprenden emisiones de CO₂ durante la producción intermedia de clínca, es una *buena práctica* estimar las emisiones de CO₂ usando datos de la producción de clínca y del contenido de CaO en la clínca y corregirlos por la pérdida del llamado polvo de horno de cemento (CKD) (nivel 2). Si no es posible obtener directamente los datos de la producción de clínca, ésta debería deducirse de la producción de cemento, aplicando una corrección a partir de las estadísticas de importación y exportación de clínca (nivel 1). Una vez que se ha obtenido una estimación de la producción de clínca, en el método de nivel 1 se estiman las emisiones de CO₂ mediante un procedimiento similar al de nivel 2. Se considera que el método simple que se describe en las *Directrices del IPCC*, de multiplicar un factor de emisión por defecto basado en el cemento por la producción de cemento, sin hacer correcciones por la importación/exportación de clínca, no es un método de *buena práctica*.

Método de nivel 2: Uso de datos de la producción de clínca

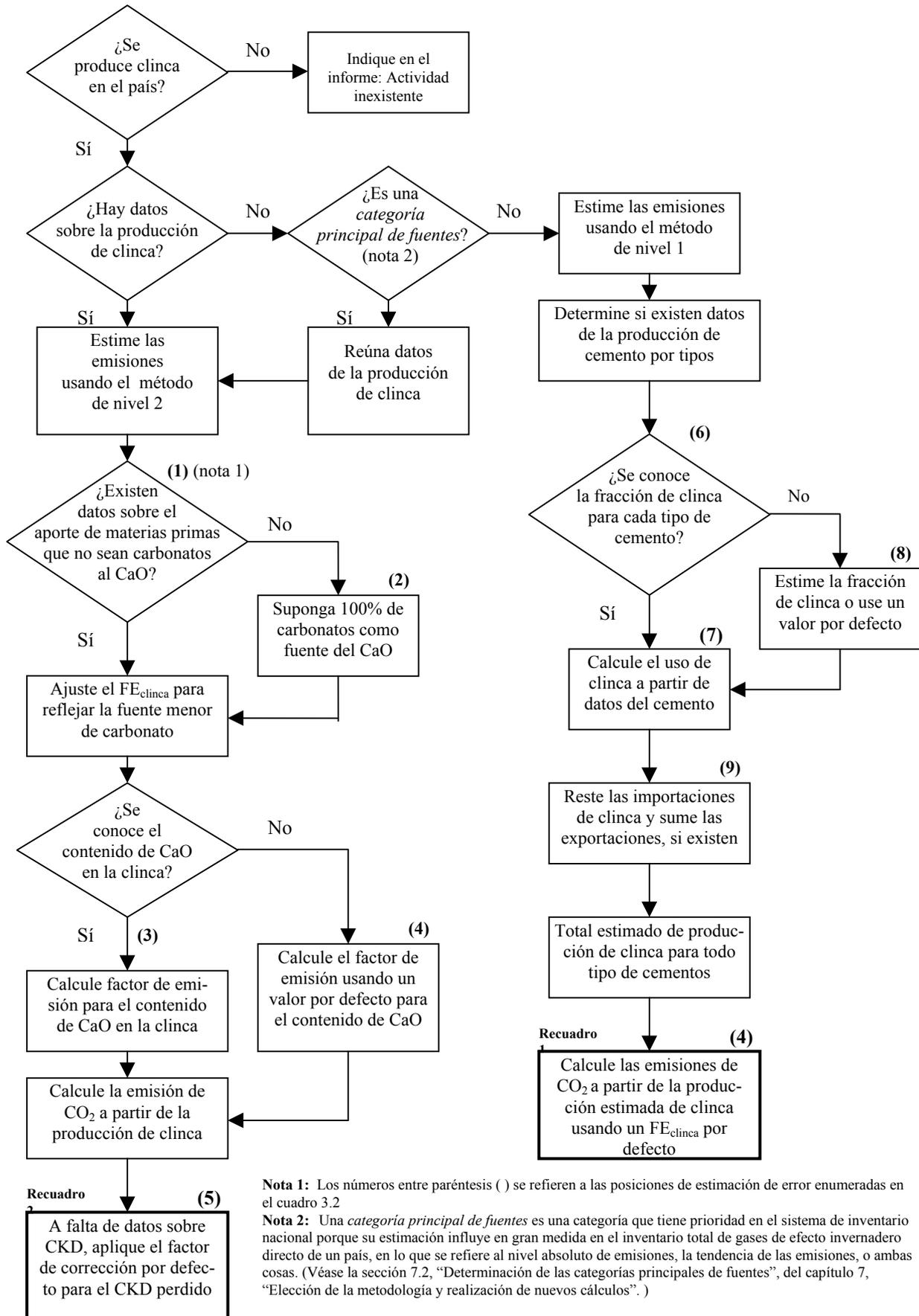
El método de *buena práctica* más riguroso consiste en usar datos agregados de la producción de clínca por plantas o nacionales y datos sobre el contenido de CaO en la clínca, expresados como un factor de emisión (FE), conforme a la siguiente ecuación 3.1:

ECUACIÓN 3.1

$$\text{Emisiones} = \text{FE}_{\text{clínca}} \cdot \text{Producción de clínca} \cdot \text{Factor de corrección por CKD}$$

Este enfoque supone que todo el CaO procede de un carbonato (p.ej., CaCO₃ en la caliza). Si existen datos sobre otras fuentes que no sean carbonatos, debería hacerse un ajuste (reducción) en el factor de emisión FE_{clínca}.

Figura 3.1 Árbol de decisiones para estimar las emisiones de CO₂ procedentes de la producción de clínca



El polvo de horno de cemento (CKD) es un polvo entre no calcinado y totalmente calcinado que se produce en el horno¹. El CKD puede estar parcial o completamente reciclado en el horno. Todo CKD que no esté reciclado puede considerarse perdido para el sistema, en cuanto a emisiones de CO₂. Es una *buena práctica* hacer una corrección por el CO₂ contenido en el CKD calcinado no reciclado (perdido), porque ese CO₂ no estará calculado en la clínca producida. La cantidad de CO₂ perdido puede variar, pero oscilaría típicamente entre alrededor del 1,5% en una planta moderna y un 8% en una planta que pierda mucho CKD altamente calcinado (van Oss, 1998). Como los datos sobre CKD son muy escasos, el factor de corrección de CKD por defecto es 1,02 (o sea, hay que añadir 2% al CO₂ calculado para la clínca). Si se cree que no se pierde CKD calcinado para el sistema, el factor de corrección será 1,00 (van Oss, 1998).

Método de nivel 1: Uso de datos de la producción de cemento

Como ya se ha mencionado, calcular las emisiones de CO₂ directamente a partir de la producción de cemento (o sea, usando un factor de emisión fijo basado en el cemento) no es compatible con la *buena práctica*. Pueden emplearse en cambio, a falta de datos sobre la producción nacional de clínca, datos sobre la producción de cemento para estimar la producción de clínca, tomando en cuenta los tipos de cemento producidos e incluyendo una corrección por el comercio internacional de clínca (exportaciones, importaciones), cuando sea pertinente, como se muestra en la ecuación 3.2:

ECUACIÓN 3.2

$$\text{Producción estimada de clínca} = \text{Producción de cemento} \cdot \text{Fracción de clínca} \\ - \text{Clínca importada} + \text{Clínca exportada}$$

Si son de fácil acceso, deberían recopilarse los datos específicos de las plantas sobre la fracción de clínca, o bien puede usarse una fracción de clínca por defecto. Si la producción de cemento no puede desagregarse por tipo y se sospecha que se producen tanto tipos de cemento mixtos como Portland, es una *buena práctica* suponer una fracción de clínca del 75%. Si se sabe que la producción de cemento es esencialmente todo cemento Portland, es una *buena práctica* usar un valor por defecto de 95% de clínca. El valor por defecto de 98,3% para la fracción de clínca sugerido en las *Directrices del IPCC* es demasiado elevado².

¹ Hasta cierto punto, todos los hornos de cemento producen polvo de horno de cemento, que es en gran medida una mezcla de materias primas calcinadas y no calcinadas y clínca. Hay pocos datos disponibles sobre la producción, composición o eliminación total de CKD; éstas están en función de la tecnología de cada planta y pueden variar con el tiempo. En general, la cantidad de CKD producida puede estimarse como equivalente a un 1,5-2,0% del peso de la producción de clínca (van Oss, 1998). El CKD puede ser reciclado directamente o recuperado por precipitación electrostática o filtración (cámaras de filtros de bolsa) desde las chimeneas de evacuación (sólo sería descargado en la atmósfera en plantas elementales de países en desarrollo). El CKD recuperado puede ser reciclado en el horno como materia prima, usado para otros fines o transferido a un vertedero. El grado de retorno del horno puede estar limitado por el hecho de que el CKD tiende a acumular contaminantes tales como los álcalis. Todo CKD no reciclado en el horno se "pierde" para el sistema del cemento, en cuanto a emisiones de CO₂. La fracción de carbonato calcinado o parcialmente calcinado del CKD perdido representa una generación de CO₂ de calcinación que no se explica por la cantidad de clínca producida. En un país desarrollado que explote plantas modernas con un moderado reciclaje de CKD en los hornos, este CO₂ extra probablemente será equivalente a alrededor del 1,5-2,0% del CO₂ calculado para la clínca (van Oss, 1998). En las plantas que hacen poco reciclaje, el porcentaje sería algo más alto (p.ej., 3%), y si el CKD perdido es principalmente materia calcinada, el CO₂ extra podría ser aún más elevado (p.ej., 6-8%). En la mayoría de los países, no es probable que el CO₂ extra máximo exceda en la práctica del 5% del CO₂ de la clínca (van Oss, 1998).

² Esta razón se calculó a partir del contenido de CaO por defecto en el cemento (63,5%) y la fracción de CaO por defecto en la clínca (64,6%), y el resultado es una relación clínca-cemento superior a la relación que existe en la mayoría de los cementos portland puros.

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Tanto el nivel 1 como el nivel 2 requieren factores de emisión para la clínca basados en estequiometría, como se muestra en la ecuación 3.3:

ECUACIÓN 3.3

$$FE_{\text{clínca}} = 0,785 \cdot \text{Contenido de CaO (Fracción de peso) en la clínca}$$

El factor de multiplicación (0,785) es la relación de peso molecular del CO₂ con el CaO en el mineral de calcita (CaCO₃) como materia prima, del cual se deriva la mayor parte o todo el CaO en la clínca. El contenido de CaO puede variar un poco según los países y las instalaciones.

Método de nivel 2

Al usar el método de nivel 2, es una *buena práctica* estimar el contenido de CaO en la clínca recopilando datos de plantas o empresas individuales. En general, el contenido medio de CaO en la clínca no cambia de manera significativa de un año a otro, de modo que puede prepararse una estimación periódicamente (p.ej., cada 5 años) en cada país³. En el caso de que no puedan obtenerse datos específicos por países sobre el contenido de CaO, puede usarse una fracción de peso por defecto de 0,65 (véanse las *Directrices del IPCC*, Vol.3, sección 2.3, “Producción de cemento”)⁴.

La ecuación 3.3 se basa en el supuesto de que todo el CaO contenido en la clínca procede del CaCO₃. La caliza y los materiales de carbonatos relacionados son la fuente principal de CaO en la clínca, pero en algunas plantas puede haber otras fuentes de CaO (p.ej., cargas de escoria ferrosa). Este supuesto sólo producirá por lo general un pequeño error, a lo sumo, pero si se sabe que se usan otras fuentes de CaO como carga para el horno en cantidades considerables, debería restarse de la clínca el aporte de CaO de esas cargas que no son carbonatos. Pero en general faltarán datos cuantitativos sobre las materias primas consumidas para la producción de clínca.

Método de nivel 1

En el nivel 1, es una *buena práctica* usar el mismo contenido de CaO por defecto del 65% que en el nivel 2, con lo cual resulta un factor de emisión de 0,51 toneladas métricas de CO₂ por tonelada métrica de clínca. Pero si se cuenta con datos suficientes sobre el contenido de CaO en la clínca, el factor de emisión del CO₂ debería estimarse como se ha descrito para el nivel 2 (véase la figura 3.1, “Árbol de decisiones para estimar las emisiones de CO₂ procedentes de la producción de cemento”).

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Método de nivel 2: Datos de la producción de clínca

El objetivo de recopilar datos de actividad para esta categoría de fuentes es obtener un valor para la producción de clínca. Una *buena práctica* consiste en recopilar datos sobre la producción de clínca directamente en las estadísticas nacionales o de preferencia en cada planta. Los datos de las plantas pueden contener información sobre el contenido de CaO en la clínca y quizás sobre las fuentes de CaO que no sean carbonatos.

Método de nivel 1: Datos de la producción de cemento

Si no se consiguen fácilmente ni pueden recopilarse datos sobre la producción nacional de clínca, la alternativa preferible es estimar la producción de clínca a partir de los datos de la producción de cemento. Esto requiere conocimientos específicos sobre la producción de cemento en distintos países, así como acerca de la composición del cemento y de la clínca. Usar la producción de cemento y suponer una fracción de clínca por defecto puede introducir errores importantes en el cálculo de las emisiones.

³ El contenido medio de CaO para la clínca usada en un país es el promedio ponderado del contenido de CaO en la clínca a partir de diversas plantas, aplicando como factores de ponderación los niveles de producción deducidos (o sea, multiplicados por su factor de corrección del CKD). Ese promedio para el país debería presentarse con fines de comparación y GC/CC.

⁴ Aunque el contenido de CaO de un tipo de cemento específico estará por lo general estrictamente controlado (dentro de 1-3%) por la planta, el contenido de CaO de la clínca puede variar según el tipo de cemento producido.

Al estimar la producción de clínca, deberían considerarse varias cuestiones.

Primero, es importante la elección entre la recopilación de datos de arriba abajo y de abajo a arriba⁵. Recopilar datos de cada productor en vez de emplear los totales nacionales aumentará la exactitud de la estimación, porque esos datos darán cuenta de las variaciones en las condiciones de las plantas. Esto es especialmente importante para determinar las posibles diferencias en la composición del cemento y las irregularidades en la producción anual (o sea, usando la materia prima en vez de la producción de clínca en diversos momentos).

En segundo término, debería considerarse el contenido de clínca en el cemento y el contenido de CaO en la clínca. Es una *buena práctica* recopilar datos sobre la producción de cemento desglosados por tipos de cemento, porque cada tipo de cemento contendrá una proporción diferente de clínca. La fracción de clínca varía en distintos países y hay que tener la precaución de asegurarse de que sea coherente con la definición local de los tipos de cemento (véanse el cuadro 3.1, “Porcentaje de clínca en la mezcla de producción de cemento”, el cuadro 3.3A, “Ejemplos de fracción de clínca en ‘recetas’ de cemento mixto (basados en las normas estadounidenses)” y el cuadro 3.3B, “Clasificación de los tipos de cemento (basada en las normas europeas (DIN 1164, parte 1)”). Es de fundamental importancia determinar los tipos de cemento que se producen o figuran en los datos de producción de cemento, porque pueden incluirse en las estadísticas sobre cemento varios tipos de cemento además del común o del Portland. Esos tipos de cemento pueden tener fracciones de clínca muy diferentes. Puede haber variantes en el contenido de CaO en la clínca para los diversos tipos de cemento producidos, pero para un tipo dado de cemento, es probable que el contenido de CaO en la clínca se mantenga bastante constante de un año a otro. Si se cuenta con datos de las plantas tanto para la fracción de clínca como para el contenido de CaO, esos datos pueden usarse para obtener un promedio de cada planta o un promedio del país.

En tercer lugar, si la producción de cemento no puede desagregarse por tipos y no puede estimarse de modo fiable la fracción de clínca en el cemento, pueden usarse valores por defecto para la relación clínca/cemento y su fracción de CaO. Como se muestra en el cuadro 3.1, “Porcentaje de clínca en la mezcla de producción de cemento”, el valor por defecto del 98,3% en las *Directrices del IPCC* dará por lo general una sobrestimación de las emisiones de CO₂. Muchos organismos encargados de los inventarios presentan datos sobre la producción de cemento hidráulico, pero este término puede incluir varios tipos de cemento y el supuesto del 100% en la producción de cemento Portland puede llevar a sobrestimaciones. La fracción de clínca puede oscilar entre un tope de 95-97% para un cemento Portland corriente y un 25% o menos para un cemento de escoria (véanse el cuadro 3.3A, “Ejemplos de fracción de clínca en “recetas” de cemento mixto (basados en las normas estadounidenses)” y el cuadro 3.3B, “Clasificación de los tipos de cemento (basada en las normas europeas (DIN 1164, parte 1)”). Por lo tanto, si la producción de cemento no puede desagregarse por tipo y se sospecha que se producen tanto cemento mixto como Portland, es una *buena práctica* suponer una fracción del 75% de clínca. Si se sabe que la producción de cemento es esencialmente todo cemento Portland, es una *buena práctica* usar un valor por defecto del 95% de clínca. En ambos casos, se supone que la clínca por defecto tiene una fracción del 65% de CaO.

⁵ En el contexto de la producción de cemento, esto significa contabilidad a escala de país o a partir de las plantas.

CUADRO 3.1 PORCENTAJE DE CLINCA EN LA MEZCLA DE PRODUCCIÓN DE CEMENTO					
Mezcla de producción por países (PC/mixto) ^a	Porcentaje de aditivos (puzolana + escoria) en el cemento mixto ^b				
	10%	20%	30%	40%	75%
0/100	85	76	66	57	24
15/85	87	79	71	63	26
25/75	88	81	74	66	42
30/70	88	82	75	68	45
40/60	89	84	78	72	52
50/50	90	85	81	76	60
60/40	91	87	84	80	66
70/30	92	89	86	84	74
75/25	93	90	88	85	77
85/15	94	92	91	89	84
100/0	El cemento Portland corriente tiene una fracción del 95% de clinca				

^a La mezcla de producción por países se refiere al rango de productos de un país, p.ej., “75/25” significa que el 75% de la producción total es Portland (PC) y el resto es mixto. Se supone que todo el cemento hidráulico es Portland o mixto o ambos, o puzolana pura. El cemento de albañilería se aproximaría a una mezcla de 60/40 a 70/30 de Portland/mixto, para la columna de aditivo del 75%. Se supone que otros cementos hidráulicos (p.ej., el aluminoso) no contienen nada.

^b La inclusión de escoria permite una base para la mezcla de Portland o cemento de escoria de alto horno de Portland o ambos. Se supone que todo Portland en el cemento mixto es un 95% de clinca. Los valores se calculan así: % PC • 95% + % mezcla • [100 – % aditivo] • 95%.

Fuente: Calculado por van Oss (1998).

EXHAUSTIVIDAD

Las plantas de producción de clinca suelen ser grandes y muy conocidas en todos los países. En consecuencia, los datos sobre la producción de clinca pueden obtenerse en las bases de datos de las estadísticas nacionales, o recopilarse fácilmente, aunque no hayan sido publicados en las estadísticas nacionales. Quizás los datos de producción de cemento o de clinca no sean completos en las estadísticas nacionales de algunos países en que una parte considerable de la producción procede de numerosos hornos pequeños, en especial hornos de chimenea vertical, sobre los cuales es difícil obtener datos.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Es una *buena práctica* calcular las emisiones procedentes de la producción de clinca usando el mismo método para cada año de la serie temporal. Cuando no se cuenta con datos para sustentar un método más riguroso para todos los años de la serie temporal, es una *buena práctica* calcular nuevamente esas lagunas de conformidad con las directrices expuestas en el Capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Si se cuenta con datos sobre la clinca, la incertidumbre del factor de emisión es igual a la incertidumbre de la fracción de CaO y del supuesto de que deriva totalmente del CaCO₃. Como el análisis químico tiene una incertidumbre del 1-2%, ésta es también la incertidumbre del factor de emisión. La incertidumbre en los datos de producción de clinca es de alrededor del 1-2%. Si la producción de clinca debe estimarse a partir de la producción de cemento, el error es de un 35%, cuadro 3.2, “Ejemplo de la estimación de las incertidumbres en los cálculos de las emisiones de CO₂ basados en las etapas de la figura 3.1”. A título de ejemplo, se ha tratado de estimar los errores en algunas etapas durante las estimaciones de emisiones (véase la figura 3.1, “Árbol de decisiones para estimar las emisiones de CO₂ procedentes de la producción de cemento”, números (1)-(9)). Los resultados se presentan en el cuadro 3.2 y dan un indicio de la magnitud del error que se introduce al usar diferentes niveles.

Las incertidumbres componentes en el cuadro 3.2 a continuación han sido combinadas como si fuesen errores máximo-mínimo simétricos. Se adoptó este enfoque porque muchas de las incertidumbres son no gaussianas y algunas pueden ser sistemáticas. La conclusión del análisis es que la estimación de las emisiones mediante datos de la producción de cemento genera un error que no excede del 20 al 40% (según el punto de vista que se adopte acerca de los valores del cuadro 3.2 donde se citan rangos). La estimación mediante datos directos de la producción de clínca reduce el error a un 10%. Estos rangos deberían tratarse como errores sistemáticos cuando se aplican los métodos expuestos en el Capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”.

CUADRO 3.2 EJEMPLO DE LA ESTIMACIÓN DE LAS INCERTIDUMBRES EN LOS CÁLCULOS DE LAS EMISIONES DE CO₂ PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO BASADO EN LAS ETAPAS DE LA FIGURA 3.1			
Etapa	Error^a	Comentario	Método
(1)	1-2%	Incertidumbre en los datos de producción de las plantas. En las plantas generalmente no se pondera la clínca mejor que esto. Se supone una presentación de datos completa.	Nivel 2
(2)	1-3%	Error asociado a la suposición de que todo CaO en la clínca procede de carbonato de calcio.	Nivel 2
3)	1-2%	Incertidumbre en los datos de las plantas sobre el contenido de CaO en la clínca. Es el mejor caso de error en el análisis químico sobre la producción.	Nivel 2
4)	4-8%	Error al suponer un CaO medio de 65% en la clínca (el CaO suele ser 60-67%).	Niveles 1, 2
5)	5%	El mejor caso de error suponiendo que se conocen el peso y la composición del polvo de horno de cemento (CKD).	Nivel 2
6)	1-2%	En las plantas generalmente no se pondera la producción de cemento mejor que esto. Se supone una presentación de datos completa.	Nivel 1
7)	20%	Error debido a mala presentación de datos o a fórmulas varias de cemento mixto.	Nivel 1
8)	35%	El “peor caso” supone una receta general del 70% de cemento mixto con 50% que no es clínca.	Nivel 1
9)	5%	Error en la presentación de datos, pero más exacto que para el cemento (el número de tarifa de la clínca es menos abarcador).	Nivel 1
Resumen de las estimaciones de los errores resultantes en las emisiones (véase el capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”)			
	20-40%	Error de nivel 1 al suponer que los datos de producción de clínca se derivaban de los datos de la producción de cemento (excluyendo errores adicionales para corregir el comercio internacional de clínca dimanantes de la necesidad de estimar el volumen de la producción nacional de clínca a partir de la producción de cemento).	
	5-10%	Error de nivel 2 al suponer la derivación de los datos de producción de clínca.	
^a Los números se refieren a la figura 3.1 y son el error “máximo” – o sea, se supone la función de distribución rectangular más probable. El error estimado en cada etapa y algunas sumas de los mismos se basan en la experiencia al recopilar y calcular los datos.			
Fuente: van Oss (1998).			

3.1.1.2 Presentación de datos y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones destinadas a los inventarios nacionales de emisiones, como se expone en sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo” del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. Se ofrecen a continuación

algunos ejemplos concretos de documentación y presentación de datos correspondientes a esta categoría de fuentes:

Método de nivel 2

En el nivel 2, esto incluye los siguientes datos:

- i) Producción de clínca y contenido de CaO en la clínca;
- ii) Datos sobre cargas en el horno que no son carbonatos;
- iii) Pérdidas de polvo de horno de cemento (indicando si se han usado valores por defecto).

Método de nivel 1

En el nivel 1, esto incluye los siguientes datos:

- i) Producción de cemento por tipos;
- ii) Importaciones/exportaciones de clínca;
- iii) Relación clínca/cemento por tipos de cemento (indicando si se han usado valores por defecto);
- iv) Contenido de CaO en la clínca (indicando si se han usado valores por defecto);
- v) Pérdidas de polvo de horno de cemento (indicando si se han usado valores por defecto).

Además, en ambos niveles, los organismos encargados de los inventarios deberían:

- i) Especificar claramente qué datos se han usado: los del IPCC por defecto o específicos del país;
- ii) Aportar toda la información necesaria para reproducir la estimación y documentación de los procedimientos de GC/CC;
- iii) Preservar una serie temporal de emisiones con coherencia interna cuando cambien los métodos nacionales, calcular nuevamente todas las emisiones del año base (desde 1990 hasta el año en curso). Esto requiere asimismo más documentación y análisis de los cambios;
- iv) Si la confidencialidad es importante para cualquier tipo de producción, puede ser necesario agregar estimaciones en la medida mínima necesaria para mantener la confidencialidad.

Nota: En el cálculo de las emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustibles (*Directrices del IPCC*, Vol. 3, capítulo 1, “Energía”) deberían tenerse en cuenta los combustibles residuales en los hornos de cemento (neumáticos, aceites residuales, pinturas, etc.) que quizás no estén incluidos en el balance de energía. Esas emisiones no deben mezclarse con la presentación de datos de las emisiones procedentes de procesos industriales.

3.1.1.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buen práctica* realizar exámenes de control de la calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad como se expone en la sección 8.7, “Procedimientos específicos de CC para cada categoría de fuentes (nivel 2)”, del capítulo 8 y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes*, como las que se identifican en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Además de la orientación que se ofrece en el capítulo 8, se resumen a continuación procedimientos específicos importantes para esta categoría de fuentes.

Comparación de las estimaciones de emisiones usando diferentes enfoques

Si se usa el enfoque de abajo a arriba para recoger datos de actividad, los organismos encargados de los inventarios deberían comparar las estimaciones de las emisiones con las estimaciones calculadas usando datos de la producción nacional para la industria del cemento o de la clínca (enfoque de arriba a abajo). Los resultados de tales comparaciones deberían registrarse para documentación interna, incluso con explicaciones sobre toda discrepancia.

Revisión de los factores de emisión

Los organismos encargados de los inventarios deberían comparar los factores de emisión agregados nacionales con los factores por defecto del IPCC, para determinar si el factor nacional es razonable en relación con el del IPCC por defecto. Deberían explicarse y documentarse las diferencias entre los factores nacionales y los factores por defecto, particularmente si son representativas de diferentes circunstancias.

Si se usa el enfoque agregado de arriba a abajo, pero se cuenta con limitados datos específicos de las plantas, los organismos encargados de los inventarios deberían comparar los factores de los sitios o plantas con el factor agregado utilizado para la estimación nacional. Esto dará un indicio de su razonabilidad y representatividad.

Examen de los datos de actividad específicos de cada sitio

Con respecto a los datos específicos de cada sitio, los organismos encargados de los inventarios deberían revisar las incoherencias entre sitios para establecer si reflejan errores, diferentes técnicas de medición o son resultado de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones de operación o en la tecnología. En la producción de cemento, los organismos encargados de los inventarios deberían comparar los datos de cada planta (contenido de CaO en la clínca, contenido de clínca en el cemento) con los de otras plantas.

Los organismos encargados de los inventarios deberían asegurar que los factores de emisión y los datos de actividad se preparen de conformidad con métodos de medición internacionalmente reconocidos y probados. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, se debería evaluar cuidadosamente el uso de esas emisiones o datos de actividad, reconsiderar las estimaciones de la incertidumbre y documentar las calificaciones. Si existe una elevada norma de medición y en la mayoría de los sitios se aplica GC/CC, puede revisarse y reducirse la incertidumbre en las estimaciones de las emisiones.

Revisión por expertos⁶

Los organismos encargados de los inventarios deberían ser las principales organizaciones empresarias del sector industrial vinculadas con la producción de cemento y de clínca en un proceso de revisión. Este proceso debería iniciarse en los comienzos del proceso de preparación del inventario para hacer aportes en la elaboración y revisión de los métodos y la adquisición de datos. La revisión por expertos es particularmente importante en cuanto al contenido de CaO en la clínca, las fuentes de CaO, las diferencias en la composición del cemento y las irregularidades en la producción anual.

También son útiles para esta categoría de fuentes las revisiones a cargo de terceros, sobre todo en relación con la recopilación inicial de datos, la labor de medición, la transcripción, el cálculo y la documentación.

⁶ Los tipos de revisiones por expertos se tratan en el capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, y comprenden la revisión por especialistas en la materia y las revisiones y auditorías a cargo de terceros. En este capítulo, la expresión *revisión por expertos* se emplea para abarcar todos los aspectos de la revisión, incluso la auditoría.

APÉNDICE 3.1.1A.1 DEFINICIONES DE LOS TIPOS DE CEMENTO

Los datos sobre cemento incluyen comúnmente todas las formas de cemento hidráulico y pueden abarcar variedades como el cemento de escoria, que no contiene grandes cantidades de clínca y no supone la correspondiente descarga de CO₂ procedente de la calcinación. En muchos países se producen y usan cementos mixtos y cementos de escoria o puzolánicos. En los cuadros 3.3A, “Ejemplos de la fracción de clínca en “recetas” de cemento mixto (basados en las normas estadounidenses)” y 3.3B, “Clasificación de los tipos de cemento (basada en las normas europeas (DIN 1164, parte 1)), se presentan datos sobre algunos de los tipos más comunes de cemento en los Estados Unidos y en los países europeos, respectivamente.

CUADRO 3.3A EJEMPLOS DE LA FRACCIÓN DE CLÍNCA EN “RECETAS” DE CEMENTO MIXTO (BASADOS EN LAS NORMAS ESTADOUNIDENESES)				
Nombre del cemento	Símbolo	Receta	% de clínca	Notas
Portland	‘PC’	100% PC	95-97	
De albañilería	‘MC’	2/3 PC	64	la receta es muy variable
Portland modificado con escoria	I(SM)	escoria < 25%	>70-93	
Portland escoria de alto horno	IS	escoria 25-70%	28-70	
Portland puzolana	IP y P	puz. 15-40%	28-79/81	la base es PC o IS
Portland modificado con puzolana	I(PM)	puz. < 15%	28-93/95	la base es PC o IS
Cemento de escoria	S	escoria 70%	<28/29	puede usar cal en vez de clínca

Fuente: van Oss (1998) basado en ASTM (1996a).

CUADRO 3.3B CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE CEMENTO (BASADA EN LAS NORMAS EUROPEAS (DIN 1164, PARTE 1))			
Nombre del cemento	Símbolo	Receta	% de clínca
Cemento Portland	CEM I	–	95-97
Portland modificado con escoria	CEM II/A-S	escoria 6-20%	77-90
	CEM II/B-S	escoria 21-35%	62-76
Portland puzolana	CEM II/A-P	puzolana 6-20%	77-90
	CEM II/B-P	puzolana 21-35%	62-76
Cemento Portland de ceniza fina	CEM II/A-V	ceniza fina 6-20%	77-90
	CEM II/A-T	esquisto bituminoso 6-20%	77-90
Cemento Portland de esquisto bituminoso	CEM II/B-T	esquisto bituminoso 21-35%	62-76
	CEM II/A-L	caliza 6-20%	77-90
Cemento Portland de escoria de ceniza fina	CEM II/A-SV	ceniza fina 10-20%	77-86
	CEM II/B-SV	escoria 10-21%	76-86
Portland de escoria de alto horno	CEM III/A	escoria de alto horno 36-65%	34-61
	CEM III/B	escoria de alto horno 66-80%	19-33

Fuente: DIN (1994).

Los tipos de cemento pueden caracterizarse así:

- **Cemento hidráulico:** todo cemento que fragua y se endurece en agua.
- **Cemento Portland:** es una mezcla de clinca y yeso, en la que la clinca constituye un 95-97% del peso total del cemento (95% de clinca es un valor por defecto frecuente). Muchos países pueden admitir una pequeña adición (1-5%) de materias de extensión inertes o cementosas. Algunos datos de producción de 'cemento Portland' pueden incluir cementos mixtos.
- **Cementos mixtos:** son una mezcla (a veces intermolida) de cemento Portland o de su clinca con aditivos tales como escoria de alto horno granulada molida y puzolanas (p.ej., ceniza muy fina, microsílíce, esquisto quemado). Los aditivos constituyen un porcentaje variable, no único, de todo el cemento, pero generalmente se encuentran en el rango de 15-40% y la clinca constituye un 57-81%.
- **Cementos de escoria:** contienen elevadas proporciones (> 70%) de escoria de alto horno granulada molida, y el resto es cemento Portland (o clinca) o cal o ambos. Algunos cementos de escoria no contienen cemento Portland en absoluto. La escoria de alto horno granulada es un cemento latente (como material aglutinante), que posee moderadas propiedades hidráulicas pero desarrolla mejores propiedades cementosas cuando interactúa con cal libre (y agua).
- **Cemento de albañilería:** las recetas varían, pero típicamente son unos 2/3 de cemento Portland o su clinca y 1/3 de aditivos tales como cal o caliza.
- **Cementos aluminosos:** son cementos hidráulicos fabricados quemando una mezcla de caliza y bauxita. Típicamente, los cementos aluminosos contienen alrededor de 30-42% de CaO o alrededor de 45-65% del contenido de CaO en la clinca de cemento Portland.
- **Cemento puzolánico:** puede referirse a un cemento mixto que contiene una cantidad considerable de puzolanas, pero más propiamente se refiere a un cemento constituido predominantemente por puzolanas y un agente activador – como la cal – que aporta CaO, pero no supone cantidades sustanciales de cemento Portland ni de clinca de cemento Portland.
- **Puzolana:** es un material silíceo que no es cementoso en sí mismo, pero desarrolla propiedades de cemento hidráulico cuando reacciona con cal libre (CaO) y agua. Entre los ejemplos comunes de puzolanas figuran las puzolanas naturales (p.ej., ciertas cenizas y tobas volcánicas, ciertas tierras de diatomeas, las arcillas y los esquistos quemados) y las puzolanas sintéticas (p.ej., microsílíce, ceniza muy fina).

3.1.2 Producción de cal

3.1.2.1 Aspectos metodológicos

En la producción de cal⁷ se emite CO₂ por la descomposición térmica (calcinación) del carbonato de calcio (CaCO₃) en la caliza para producir cal viva (CaO) o por la descomposición de dolomita⁸ (CaCO₃·MgCO₃) para producir cal ‘viva’ dolomítica (CaO·MgO). La *buena práctica* para estimar las emisiones procedentes de la producción de cal es determinar la producción completa de CaO y CaO·MgO a partir de los datos de producción de cal. La exactitud depende de obtener estadísticas completas de la producción de cal y establecer la proporción de los diferentes tipos de cal. En las *Directrices del IPCC* se tocan brevemente ambos puntos, presentando un factor de emisión como valor límite superior por defecto para evitar la subestimación de las emisiones.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

En las *Directrices del IPCC* se presenta la siguiente ecuación para estimar las emisiones:

<p>ECUACIÓN 3.4</p> <p>Emisiones de CO₂ = Factor de emisión (FE) • Producción de cal</p>
--

Donde:

FE = 785 kg de CO₂ por tonelada métrica de cal grasa viva, y

913 kg de CO₂ por tonelada métrica de cal dolomítica viva

La ecuación 3.4 puede aplicarse a las estadísticas nacionales o a las de los productores. Es una *buena práctica* evaluar la exhaustividad de las estadísticas nacionales disponibles y la relación entre caliza y dolomita usada en la producción de cal. Las industrias que usan cal y pueden producirla están enumeradas en la sección sobre exhaustividad. La recopilación de datos debería abarcar tanto las cantidades producidas como la composición promedio. La elección de métodos de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales (como se muestra en la figura 3.2, “Árbol de decisiones para la producción de cal”).

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC* citados en la ecuación 3.4 corresponden al 100% de CaO (o de CaO·MgO) en la cal (razón estequiométrica) y pueden sobrestimar las emisiones, pues el contenido de CaO y (si existe) de MgO puede ser inferior al 100%. Es una *buena práctica* aplicar la ecuación 3.5A o la ecuación 3.5B, o ambas, para ajustar los factores de emisión y dar cuenta del contenido de CaO o de CaO·MgO (véase el cuadro 3.4, “Parámetros básicos para calcular los factores de emisión para la producción de cal”):

<p>ECUACIÓN 3.5A</p> <p>FE₁ = Razón estequiométrica (CO₂ / CaO) • Contenido de CaO</p>

Donde: FE₁ = factor de emisión para la cal viva

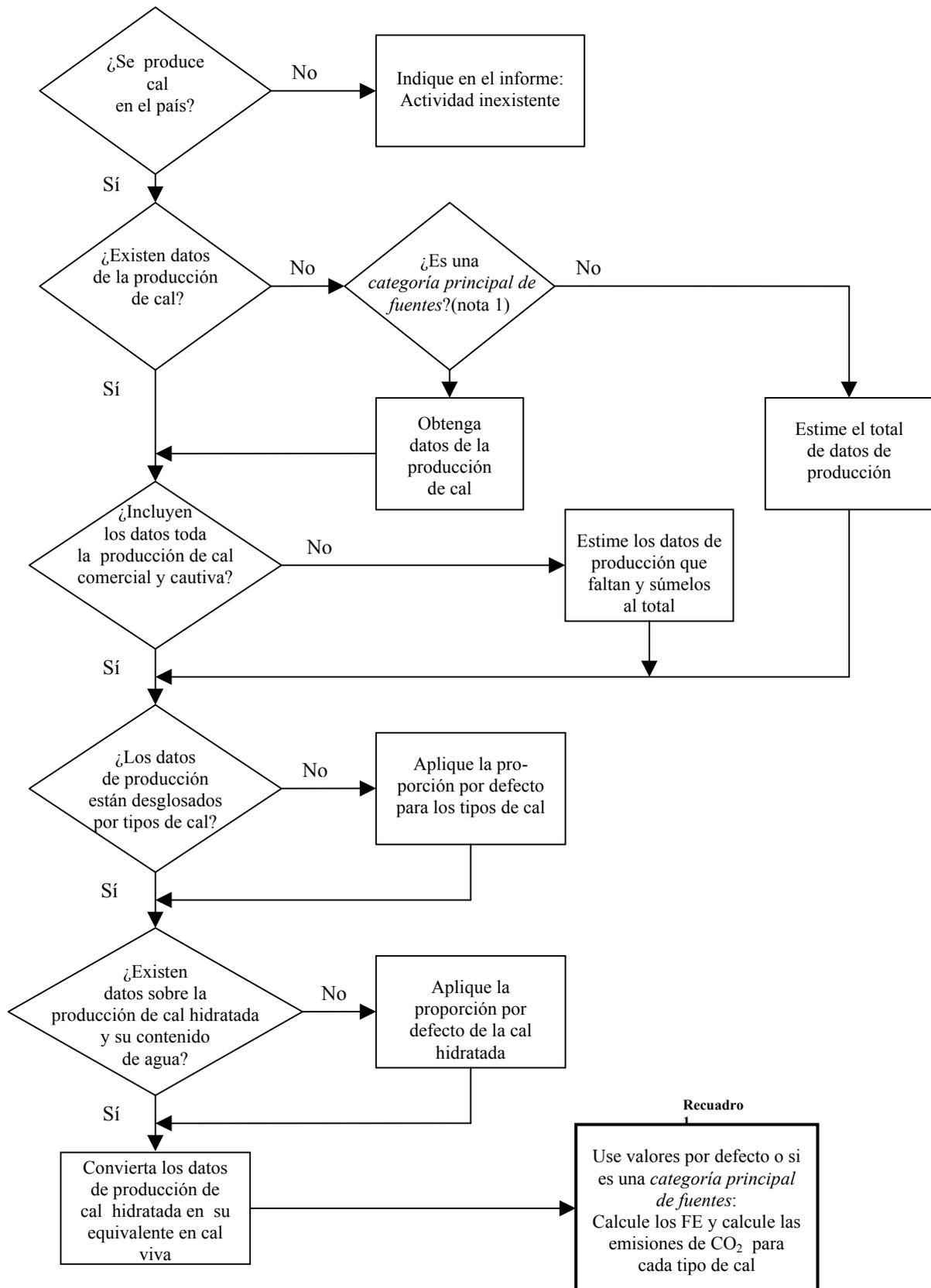
<p>ECUACIÓN 3.5B</p> <p>FE₂ = Razón estequiométrica (CO₂ / CaO·MgO) • Contenido de (CaO·MgO)</p>

Donde: FE₂ = factor de emisión para la cal viva dolomítica

⁷ Las emisiones procedentes del uso de caliza también se analizan por separado en las *Directrices del IPCC*, pero en este informe no se presenta *orientación sobre buenas prácticas* para esta categoría de fuentes y algunas otras categorías de fuentes de emisión conexas. Todavía no se ha preparado *orientación sobre buenas prácticas* porque se supone que las emisiones procedentes de esas categorías de fuentes son reducidas y no se cuenta con los datos correspondientes.

⁸ Los compuestos químicos no estequiométricos, como las mezclas cristalinas isomórficas entre Ca y Mg en sus compuestos como óxidos y carbonatos, suelen expresarse mediante las fórmulas químicas CaO·MgO y CaCO₃·MgCO₃, respectivamente.

Figura 3.2 Árbol de decisiones para la producción de cal



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema de inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país, en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las categorías principales de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.)

En el cuadro 3.4, “Parámetros básicos para calcular los factores de emisión para la producción de cal”, se presentan datos sobre la razón estequiométrica, los rangos de contenido de CaO y CaO·MgO y los factores de emisión por defecto resultantes, de los principales tipos de cal que se producen. Hay tres tipos principales de cal:

- Cal grasa (CaO + impurezas);
- Cal dolomítica (CaO·MgO + impurezas);
- Cal hidráulica (CaO + silicatos de calcio), que es una sustancia entre cal y cemento.

La principal razón para distinguir estos tipos es que los dos primeros tienen diferentes razones estequiométricas y el tercero posee un contenido sustancialmente inferior de CaO. No existe una fórmula química exacta para cada tipo de cal, porque la composición química del producto llamado cal está determinada por las de la caliza o la dolomita usadas para fabricarlo.

Tomar en cuenta los tipos de cal mejorará las estimaciones de las emisiones. En consecuencia, al determinar la composición de la cal, es una *buena práctica* examinar los dos atributos siguientes: 1) la proporción de los tres tipos diferentes de cal, y 2) la proporción de cal hidratada en la producción.

Cuando no existen datos desagregados para desglosar los tipos de cal, el valor por defecto para la cal grasa/dolomítica es 85/15 (Miller, 1999) y debería suponerse que la proporción de cal hidráulica es cero, salvo que se disponga de otra información.

CUADRO 3.4 PARÁMETROS BÁSICOS PARA CALCULAR LOS FACTORES DE EMISIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE CAL						
Tipo de cal	Razón estequiométrica (1)	Rango del contenido de CaO [%]	Rango del contenido de MgO [%]	Valor por defecto para el contenido de CaO/CaO·MgO (2)	Factor de emisión por defecto (1) • (2)	Estimación de la incertidumbre en las estimaciones de las emisiones
Cal grasa ^a	0,79	93-98	0,3-2,5	0,95	0,75	±2%
Cal dolomítica ^b	0,91	55-57	38-41	0,95 ó 0,85 ^c	0,86 ó 0,77 ^c	±2%
Cal hidráulica ^b	0,79	65-92		0,75	0,59	±15%

Fuente:
^a Miller (1999b) basado en ASTM (1996b) y Schwarzkopf (1995).
^b Miller (1999a) basado en Boynton (1980).
^c Este valor depende de la tecnología empleada para la producción de cal. El valor superior se sugiere para los países desarrollados y el inferior para los países en desarrollo.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad completos incluyen tanto datos sobre la producción de cal como datos sobre la estructura de la cal (incluso los tipos de cal y la proporción de cal hidratada).

Corrección para la proporción de cal hidratada: Tanto la cal grasa como la dolomítica pueden ser apagadas y convertidas en cal hidratada, o sea $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2$ ⁹.

Si x es la proporción de cal hidratada e y es el contenido de agua en ella, es una *buena práctica* multiplicar la producción por un factor de corrección $1 - (x \cdot y)$. En el cuadro 3.5, “Corrección de los datos de actividad para la cal hidratada”, a continuación, se presentan rangos para la cantidad de agua (y) en diferentes tipos de cal. Los valores por defecto son: $x = 0,10$, $y = 0,28$, que dan por resultado un factor de corrección de 0,97 (Miller, 1999).

⁹ La expresión ‘cal apagada’ puede significar cal hidratada seca, en pasta o en solución acuosa. Suponiendo una hidratación completa y de cal viva pura en un 100%, el agua para la hidratación de la cal grasa es de 24% y para la cal dolomítica es de 27%. En la práctica, se requiere un exceso de agua sobre la cantidad teórica para la hidratación completa (Miller, 1999).

CUADRO 3.5 CORRECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD PARA LA CAL HIDRATADA			
Tipo de cal	Contenido teórico de agua en la cal hidratada [%]	Contenido de agua en la cal hidratada comercial [%]	Factor de corrección por defecto del contenido de agua
Cal grasa	24,3	26-28	0,28
Cal dolomítica	27,2	17-31	0,28
Cal hidráulica	–	–	–

Fuente: Miller (1999b) basado en ASTM (1996) y Schwarzkopf (1995).

EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad de los datos de actividad (p.ej., en la producción de cal) es un atributo crucial de *buena práctica*. Típicamente, la producción presentada representa sólo una parte de la producción real, si se considera que la producción de cal es el producto que se vende en el mercado. El uso o la producción de cal como intermedio no comercializado no se tiene bien en cuenta ni se presentan sus datos. Por ejemplo, muchas plantas que producen acero, sosa comercial sintética, carburo de calcio¹⁰, magnesia y magnesio metálico, así como las fundiciones de cobre y los molinos azucareros, producen cal pero quizás no presenten los datos a los organismos nacionales. Asimismo, es poco probable que las industrias que regeneran cal a partir de carbonatos de calcio residuales (p.ej., las plantas de pasta de madera y papel) presenten datos de su producción de cal. La omisión de estos datos puede conducir a una subestimación de la producción de cal en un país, por un factor de dos o más.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Es una *buena práctica* calcular las emisiones procedentes de la producción de cal usando el mismo método para cada año de la serie temporal. Cuando no se cuenta con datos para sustentar un método más riguroso para todos los años de la serie temporal, es una *buena práctica* volver a calcular esas lagunas de conformidad con la orientación suministrada en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

La razón estequiométrica es un número exacto y por lo tanto la incertidumbre del factor de emisión es la incertidumbre sobre la composición de la cal, en particular de la parte de cal hidráulica, que tiene una incertidumbre del 15% en el factor de emisión (2% de incertidumbre en los otros tipos). Por lo tanto, la incertidumbre total es del 15% a lo sumo (véase el cuadro 3.4, “Parámetros básicos para calcular los factores de emisión en la producción de cal”).

Es probable que la incertidumbre de los datos de actividad sea muy superior a la de los factores de emisión, como lo indica la experiencia en la recopilación de datos sobre la cal (véase más arriba la sección sobre exhaustividad). La omisión de la producción de cal no comercializada puede provocar un error de +100% o más. La corrección para la cal hidratada añade típicamente alrededor de $\pm 5\%$ a la incertidumbre anterior.

3.1.2.2 Presentación de datos y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para producir estimaciones de los inventarios nacionales de emisiones, como se expone en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. No es práctico incluir toda la documentación en el informe del inventario nacional. Pero el inventario debería incluir resúmenes de los métodos usados y referencias a los datos fuente, de modo que las estimaciones de las emisiones presentadas sean transparentes y puedan rastrearse las etapas seguidas para calcularlas.

Para preservar una serie temporal de emisiones que tenga coherencia interna, cuando cambien los métodos nacionales es una *buena práctica* calcular nuevamente toda la serie temporal. Si la confidencialidad es

¹⁰ Algunos productores de carburos también pueden regenerar cal a partir de sus subproductos de hidróxido de calcio, lo cual no produce emisiones de CO₂. Para producir carburo de calcio, se mezcla cal viva con coque y se calienta en hornos eléctricos. La regeneración de la cal en este proceso se efectúa utilizando un hidróxido de calcio residual (cal hidratada) [CaC₂ + 2 H₂O → C₂H₂ + Ca(OH)₂], no carbonato de calcio [CaCO₃]. De modo que el hidróxido de calcio se calienta en el horno simplemente para expulsar el agua [Ca(OH)₂ + calor → CaO + H₂O] y no se descarga nada de CO₂ en la atmósfera.

importante para cualquier tipo de producción, las estimaciones pueden agregarse en la medida mínima necesaria para mantener la confidencialidad.

3.1.2.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buena práctica* realizar exámenes de control de calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, y una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad, como se expone en la sección 8.7, “Procedimientos específicos de CC para cada categoría de fuentes (nivel 2)”, del capítulo 8, y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes*, identificados en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Además de la orientación que figura en el capítulo 8, se exponen a continuación procedimientos específicos importantes para esta categoría de fuentes.

Comparación de las estimaciones de las emisiones usando diferentes enfoques

Si se usa el enfoque de abajo a arriba, los organismos encargados del inventario deberían comparar las estimaciones de las emisiones con la estimación calculada usando datos de la producción nacional de cal (enfoque de arriba a abajo). Los resultados de tales comparaciones deberían registrarse para documentación interna, incluso con explicaciones sobre toda discrepancia.

Examen de los datos de actividad

Los organismos encargados del inventario deberían confirmar las definiciones correctas de los diferentes tipos de cal producidos en el país (o sea, contenido de CaO y MgO, cal grasa viva (CaO) y cal dolomítica viva (CaO·MgO). Deberían examinar la exhaustividad de las estadísticas nacionales sobre el uso de caliza, cal y dolomita comparándolas con la lista de industrias por defecto que usan caliza, presentada en las *Directrices del IPCC*, Vol. 3, pág. 2.9).

3.1.3 Industria siderúrgica

3.1.3.1 Aspectos metodológicos

El hierro bruto se produce por reducción de minerales de óxido de hierro, sobre todo en altos hornos, usando generalmente el carbono contenido en el coque o el carbón vegetal (complementado a veces con hulla o petróleo), como combustible y también como reductor. En la mayoría de los hornos de hierro, se ayuda al proceso utilizando fundentes carbonatados (caliza). Se producen más emisiones cuando el fundente de caliza o dolomita desprende CO₂ durante la reducción del arrabio en el alto horno, pero esta categoría de fuentes está comprendida en las emisiones procedentes del uso de caliza (véanse las *Directrices del IPCC*, Vol. 3, sección 2.5, “Uso de caliza y dolomita”). Excepto una pequeña cantidad de carbono retenida en el hierro bruto, todo el carbono del coque y de los fundentes se emite como producto de la combustión y la calcinación. También se desprenden emisiones en mucho menor grado durante la producción de acero, que es esencialmente el proceso de eliminación (generalmente por oxidación) de la mayor parte del carbono contenido en el hierro bruto.

El carbono desempeña el doble papel de combustible y reductor. Es importante no contabilizar por partida doble el carbono procedente del consumo de coque u otros agentes reductores, si ya está computado como consumo de combustible en el sector de la energía. Como el objetivo principal de la oxidación del carbono es reducir el mineral de óxido de hierro a hierro bruto o arrabio (el carbono se usa como agente reductor), se considera que las emisiones son emisiones procedentes de procesos industriales y deberían ser presentadas preferiblemente como tales. Si no es así, debería mencionarse explícitamente en el inventario. Esta categoría de fuentes debería incluir las emisiones de CO₂ procedentes del uso de gas de alto horno como combustible, si los datos sobre las emisiones se presentan en el sector de los procesos industriales.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

En las *Directrices del IPCC* se resumen varios enfoques para calcular las emisiones de CO₂ procedentes de la producción de hierro y acero. La elección de un método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, como se muestra en el árbol de decisiones de la figura 3.3, “Árbol de decisiones para la industria siderúrgica”. En el método de nivel 1 se calculan las emisiones procedentes del consumo del agente reductor (p.ej., coque de hulla, hulla, coque de petróleo), usando factores de emisión similares a los utilizados para estimar las emisiones de la combustión. El método de nivel 1 es bastante sencillo y sobrestima levemente las emisiones. El método de nivel 2 es semejante al de nivel 1, pero incluye una corrección por el carbono almacenado en los metales producidos. Además, un enfoque muy simple que se menciona en las *Directrices del IPCC* consiste en multiplicar la producción de hierro y acero por un factor de emisión basado en la producción. Pero se considera que este método no es una *buena práctica*.

No se incluyen aquí las emisiones de CO₂ procedentes de la caliza usada como “fundente” en el proceso de reducción, porque ya se tienen en cuenta en las *Directrices del IPCC*, Vol. 3, sección 2.5, “Uso de caliza y dolomita”¹¹.

Método de nivel 2

El método de nivel 2 se basa en rastrear el carbono a través del proceso de producción. Es más exacto que el de nivel 1, pero también insume más datos. Al estimar las emisiones a base de datos específicos de las plantas para el nivel 1 y para el nivel 2, se evitará la contabilidad por partida doble o la omisión de emisiones. En el método de nivel 2 se calculan por separado las emisiones procedentes de la producción de hierro y las de la producción de acero. Para lograr la máxima exactitud, es una *buena práctica* elaborar estimaciones de las emisiones en las plantas, porque las plantas pueden tener diferencias sustanciales en cuanto a tecnología. Si no se cuenta con datos de las plantas, es una *buena práctica* usar datos de producción compilados a escala nacional sobre la producción de hierro y acero, que deben restarse del sector de quema de combustibles. De modo que es necesario conocer detalladamente las convenciones en las estadísticas nacionales sobre energía y en el inventario, para evitar la contabilidad por partida doble o las omisiones.

Hierro: Es una *buena práctica* usar la siguiente ecuación de las *Directrices del IPCC*:

¹¹ Los hornos de hierro requieren caliza de mayor pureza que la necesaria para la producción de clínca (cemento). En las *Directrices del IPCC* se cita una referencia de USEPA que supone que se usan 250 kg de cal por cada tonelada métrica de hierro. Pero este valor varía según la pureza del mineral y el tipo de horno.

ECUACIÓN 3.6A

$$\text{Emisiones}_{\text{arrabio}} = \text{Factor de emisión}_{\text{agente reductor}} \cdot \text{Masa del agente reductor} + (\text{Masa de carbono en el mineral} - \text{Masa de carbono en el hierro bruto}) \cdot 44 / 12$$

Los agentes reductores pueden ser coque, hulla, carbón vegetal y coque de petróleo. En el cuadro 3.6, “Factores de emisión del CO₂ procedente de la producción de metales (tonelada métrica de CO₂/tonelada métrica de agente reductor)”, se presentan los factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC* (Vol. 3, cuadro 2-12, “Factores de emisión del CO₂ para la producción de metales en general (tonelada métrica de CO₂/tonelada métrica de agente reductor)”) para los agentes reductores más comunes. En las técnicas de reducción directa, se usan otros agentes reductores como CO, H₂ o gas natural. En estos casos, deberían aplicarse factores de emisión de las plantas o específicos del país. Según las *Directrices del IPCC*, las emisiones de CO₂ que se producen a partir de fundente de caliza se presentan como emisiones procedentes del uso de caliza y dolomita (véanse las *Directrices del IPCC*, Vol. 3, sección 2.5, “Uso de caliza y dolomita”).

La cantidad de carbono en el mineral es casi nula y el hierro bruto contiene un 4% de carbono.

Acero: Las emisiones que se desprenden en la producción de acero (p.ej., al usar un horno de oxígeno básico (BOF, del inglés Basic Oxygen Furnace), un horno abierto (OHF, Open Hearth Furnace) u hornos eléctricos (EAF, Electric Arc Furnace)) se basan en la diferencia entre el contenido de carbono del hierro (3-5%) y del acero (0,5-2%). Además, para el acero producido en hornos eléctricos es una *buena práctica* añadir a las emisiones el carbono que se desprende de los electrodos consumidos (aproximadamente 1-1,5 kg de carbono por tonelada de acero)¹²:

ECUACIÓN 3.6B

$$\text{Emisiones}_{\text{acero bruto}} = (\text{Masa de carbono en el hierro bruto usada para la producción} - \text{Masa de carbono en el acero bruto}) \cdot 44 / 12 + \text{Factor de emisión}_{\text{EAF}} \cdot \text{Masa de acero producido en EAF}$$

Las emisiones totales de la producción siderúrgica son simplemente la suma de las dos ecuaciones 3.6A y 3.6B anteriores:

ECUACIÓN 3.7

$$\text{Emisiones totales} = \text{Emisiones}_{\text{arrabio}} + \text{Emisiones}_{\text{acero bruto}}$$

Método de nivel 1

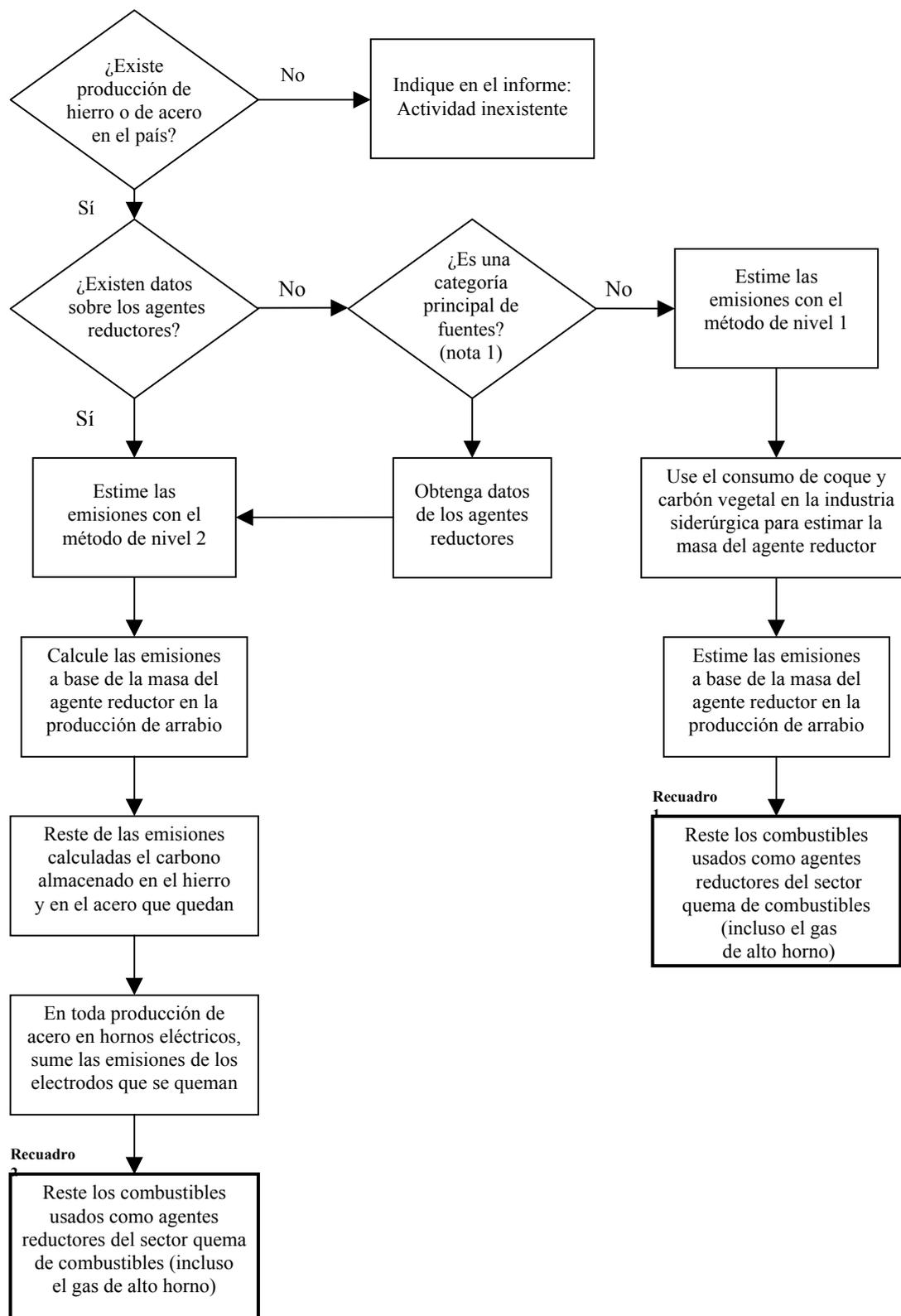
Usando el método de nivel 1, no se incluye el carbono acumulado en el arrabio y el acero bruto producidos, como ocurre con el método de nivel 2. Esto simplifica el cálculo en el sentido de que no se requiere información sobre el contenido de carbono en los metales producidos. Cuando se usa el método de nivel 1, es una *buena práctica* calcular las emisiones del modo siguiente:

¹² En los hornos eléctricos (EAF) se añade cal y el CO₂ que se emite debería tomarse en cuenta en la sección sobre el uso de cal (véanse las *Directrices del IPCC*, Vol. 3, sección 2.5). El factor de emisión del carbono se basa en la pérdida de carbono procedente del electrodo como valor medio en el siguiente proceso: En los EAF, los electrodos están hechos de carbono – grafito o pasta de Søderberg. Cuando los electrodos se mantienen por encima de la colada de acero (líquido), el arco eléctrico oxida el carbono, produciendo CO o CO₂. El índice de producción de gas variará con el tipo de electrodo y otros diversos factores. Asimismo, el calor causa la oxidación del carbono en la colada, reduciéndolo de un 4% en el hierro bruto a 2% o menos (generalmente, menos del 1%) en el acero. A veces, el electrodo se sumerge en la colada para aumentar el contenido de carbono del acero, en caso de que se haya quemado demasiado carbono en la colada. En tal caso, se elimina carbono del electrodo, pero eso puede producir CO₂ o no. Si el EAF está ajustado correctamente, sólo se permite la erosión del electrodo suficiente para restaurar el contenido de carbono del acero al nivel deseado. Si el EAF no es eficiente, la erosión del electrodo activo puede resultar excesiva, el electrodo se retrae por encima de la colada y el excedente de carbono en la colada se quema.

ECUACIÓN 3.8

$$\text{Emisiones} = \text{Masa del agente reductor} \cdot \text{Factor de emisión}_{\text{agente reductor}}$$

El consumo de coque y carbón vegetal en la industria siderúrgica puede usarse para estimar la masa de los agentes reductores, si no se cuenta fácilmente con información específica de las plantas acerca de los combustibles usados como agente reductor (restando a la vez la misma cantidad del sector de quema de combustibles). Esta etapa sólo afecta la asignación sectorial de las emisiones de CO₂, no la cantidad total. El error cometido al menospreciar el término de carbono almacenado de nivel 2 será de 1-5% si todo el arrabio producido se usa para la producción de acero bruto y un máximo del 10% si todo el arrabio se usa para otros fines (p.ej., en las fundiciones de hierro colado). De modo que este método provocará una leve sobrestimación de la fuente.

Figura 3.3 Árbol de decisiones para la industria siderúrgica

Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema de inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país, en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las categorías principales de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.)

Nota 2: No se incluyen aquí las emisiones de CO₂ de la caliza usada como “fundente” en el proceso de reducción porque se contabilizan en las *Directrices del IPCC*, Vol. 3, sección 2.5, sobre las emisiones de CO₂ en el uso de caliza y dolomita.

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Si no se dispone de datos específicos para el país con respecto a las plantas, pueden adoptarse los factores de emisión por defecto para los agentes reductores en la producción de arrabio que figuran en las *Directrices del IPCC*, Vol. 3, cuadro 2-12 (véase el cuadro 3.6, “Factores de emisión de CO₂ en la producción de metales (tonelada métrica de CO₂/tonelada métrica de agente reductor)”).

CUADRO 3.6 FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ EN LA PRODUCCIÓN DE METALES (TONELADA MÉTRICA DE CO₂/TONELADA MÉTRICA DE AGENTE REDUCTOR)	
Agente reductor	Factor de emisión^a
Hulla ^b	2,5
Coque de hulla ^b	3,1
Coque de petróleo	3,6
^a Si no se cuenta con mejor información sobre el contenido real de carbono en el plano nacional o no puede calcularse a partir de los datos que figuran en la <i>Directrices del IPCC</i> , Vol. 3, capítulo 1. ^b Derivados de datos que figuran en las <i>Directrices del IPCC</i> , Vol. 3, capítulo 1. Fuente: <i>Directrices del IPCC</i> , Manual de referencia, cuadro 2-12.	

En las técnicas de reducción directas, se usan otros agentes reductores, como CO, H₂ o gas natural, cada uno con un factor de emisión específico. Es una *buena práctica* usar factores de emisión específicos de las plantas para el acero producido en un EAF. Si no se dispone de datos acerca de las plantas, debería usarse un factor de emisión por defecto para la oxidación por electrodo. En el método de nivel 2, debería usarse un factor de emisión por defecto de 5 kg de CO₂ por tonelada métrica de acero producido en los EAF para el consumo del electrodo en el acero producido en hornos eléctricos (factor de emisión_{EAF}) (Tichy, 1999).

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Método de nivel 2

Deberían recopilarse los datos de actividad de las plantas. El dato más importante es la cantidad de agente reductor usado para la producción de hierro. Si esta no es una *categoría principal de fuentes* y no se cuenta con datos específicos de las plantas, puede estimarse la masa del agente reductor usando el enfoque de nivel 1 (véase más abajo). Además, la cantidad de arrabio producida, así como las cantidades usadas para la producción de acero bruto, y sus contenidos de carbono, deberían recopilarse junto con datos sobre la cantidad de acero bruto producido en los EAF y la cantidad de hierro presente en el mineral y su contenido de carbono.

Método de nivel 1

El método de nivel 1 sólo requiere la cantidad de agente reductor usada en la producción de hierro. Si no se cuenta con datos específicos de plantas sobre la masa del agente reductor, esta puede estimarse restando la cantidad de combustible usado en la industria siderúrgica (ISIC 1990) para la reducción del mineral de hierro a partir del uso de combustible y presentado en el sector de la energía. La cantidad de combustible usado para la reducción puede calcularse a partir del balance de masa de la fórmula química para reducir el mineral de hierro. Esta estimación aproximada sólo afecta la asignación de las emisiones de CO₂ entre los procesos industriales y el sector de la energía.

EXHAUSTIVIDAD

Al estimar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes, existe el riesgo de contabilizarlas por partida doble o de omitirlas en los procesos industriales o en el sector de la energía. Como el uso principal de la oxidación del coque es para producir arrabio, se considera que las emisiones son procesos industriales y deberían presentarse como tales. Si no es así, debería mencionarse explícitamente en el inventario. Los organismos encargados de los inventarios deberían practicar un examen de doble contabilidad/exhaustividad. Eso exigirá un buen conocimiento del inventario en esa categoría de fuentes.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones procedentes de la producción siderúrgica deberían calcularse usando el mismo método para cada año de la serie temporal. Cuando no se cuente con datos para sustentar un método más riguroso para todos los años de la serie temporal, esas lagunas deberían calcularse nuevamente de conformidad con la orientación suministrada en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Tanto para el nivel 1 como para el 2, el dato más importante sobre el tipo de actividad es la cantidad de agente reductor empleada en la producción de hierro. Según el capítulo 2, “Energía”, los datos sobre la energía presentan una incertidumbre típica de un 5% (un 10% en los países con estadísticas de energía menos elaboradas). Para calcular el término carbono almacenado, en el nivel 2 se requieren más datos de actividad sobre las cantidades de arrabio y la producción neta de acero bruto, que tiene una incertidumbre típica de pocos puntos porcentuales. Además, en el nivel 2 se requiere información sobre el contenido de carbono en el arrabio, el acero bruto y el mineral de hierro, que pueden tener una incertidumbre del 5% cuando se dispone de datos específicos de plantas. De otro modo, la incertidumbre en el contenido de carbono podría ser del orden del 25 al 50%. Por último, la incertidumbre en los factores de emisión para el agente reductor (p.ej., coque) suelen estar dentro del 5% (véase la sección 2.1.1.6, “Evaluación de la incertidumbre”, para “Emisiones de CO₂ procedentes de la combustión fija.”).

El error sistemático cometido en las emisiones estimadas en el nivel 1 al menospreciar el término carbono almacenado en el nivel 2 será de 1-5% si todo el arrabio producido se usa para la producción de acero bruto y un máximo de 10% si todo el arrabio se usara para otros fines, o sea, en las fundiciones de hierro colado. De modo que este método provocará una leve sobrestimación de la fuente.

3.1.3.2 Presentación de datos y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para producir estimaciones destinadas a los inventarios nacionales de emisiones, tal como se expone en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. No es práctico incluir toda la documentación en el informe del inventario nacional. Pero el inventario debería incluir resúmenes de los métodos usados y referencias a los datos fuente, de modo que las estimaciones presentadas de las emisiones sean transparentes y puedan rastrearse las etapas seguidas para calcularlas.

Método de nivel 2

Es una *buena práctica* documentar las emisiones, todos los datos de actividad (agentes reductores, carbono almacenado, acero producido en los EAF, electrodos), además de los correspondientes factores de emisión y los supuestos usados para derivarlos. Debería haber una explicación del nexo con la estimación del subsector de quema de combustibles para demostrar que no ha habido contabilidad por partida doble ni omisión de emisiones.

Método de nivel 1

Además de las emisiones, es una *buena práctica* presentar la cantidad de agentes reductores y sus factores de emisión. En el cuadro correspondiente, las emisiones presentadas son sólo parte de las emisiones totales y el resto se presenta en otro sitio (sección Quema de combustible).

Además, los organismos encargados de los inventarios deberían documentar, para ambos niveles, toda la información necesaria para reproducir la estimación, así como los procedimientos de GC/CC.

3.1.3.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buena práctica* realizar exámenes de control de calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad como se expone en la sección 8.7, “Procedimientos específicos de CC para cada categoría de fuentes (nivel 2)” del capítulo 8 y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Además de la orientación que figura en el capítulo 8, se exponen a continuación procedimientos específicos importantes para esta categoría de fuentes.

Examen de los datos de actividad

En el método de nivel 2, los organismos encargados de los inventarios deberían examinar la quema de combustible mencionada en la sección 2.1.1.4 para asegurarse de que las emisiones procedentes del calentamiento/agentes reductores (carbón, coque, gas natural, etc.) no hayan sido contabilizadas por partida doble ni omitidas.

Los organismos encargados de los inventarios deberían examinar toda incoherencia entre los datos de plantas diferentes para establecer si reflejan errores, técnicas de medición diferentes o son resultado de diferencias reales en las emisiones, de las condiciones de operación o de la tecnología. Esto es particularmente importante para las estimaciones de la masa del agente reductor específicas de cada planta.

Los organismos encargados de los inventarios deberían comparar las estimaciones agregadas de las plantas con los totales de la industria para el consumo de carbono y caliza, cuando se dispone de esos datos comerciales.

3.2 EMISIONES DE N₂O PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ADÍPICO Y ÁCIDO NÍTRICO

3.2.1 Aspectos metodológicos

El óxido nitroso (N₂O) se genera como subproducto involuntario durante la producción de ácido adípico y ácido nítrico (HNO₃) y en muchos procesos industriales que emplean óxidos de nitrógeno o ácidos nítricos como materia prima (p.ej., en la fabricación de caprolactamo, glioxal y el reprocesamiento de combustible nuclear). El ácido adípico y el ácido nítrico son grandes fuentes de N₂O atmosférico si no se reducen¹³. Las emisiones de N₂O procedentes de estos procesos dependen de la cantidad generada en el proceso específico de producción y de la cantidad destruida en todo proceso subsiguiente de reducción. La reducción del N₂O puede ser voluntaria, mediante la instalación de equipo destinado específicamente a destruir el N₂O en las plantas de ácido adípico, o involuntaria en sistemas destinados a reducir otras emisiones, como los óxidos de nitrógeno (NO_x). Véase una exposición más amplia en el Manual de referencia de las *Directrices del IPCC* (secciones 2.9 y 2.10, “Producción de ácido nítrico” y “Producción de ácido adípico”).

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La elección de métodos de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales. En el árbol de decisiones de la figura 3.4, “Árbol de decisiones para las emisiones de N₂O procedentes de la producción de ácido adípico y ácido nítrico”, se describe la *buena práctica* para adaptar los métodos que figuran en las *Directrices del IPCC* a esas circunstancias nacionales. El árbol de decisiones debería aplicarse por separado a la producción de ácido adípico y de ácido nítrico

En las *Directrices del IPCC* se presenta una ecuación básica para estimar las emisiones de N₂O en la cual los datos de producción se multiplican por un factor de emisión. Dado el uso actual y el potencial en el futuro de tecnologías para reducir el N₂O, en particular en las plantas de ácido adípico, es una *buena práctica* incluir un término más en esta ecuación:

ECUACIÓN 3.9

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = \text{Factor de emisión específico} \cdot \text{Volumen de producción} \cdot [1 - (\text{Factor de destrucción del N}_2\text{O} \cdot \text{Factor de utilización del sistema de reducción})]$$

El factor de destrucción del N₂O tiene que multiplicarse por un factor de utilización del sistema de reducción para tener en cuenta todo período de paralización del equipo de reducción de las emisiones (o sea, el tiempo que el equipo no funciona).

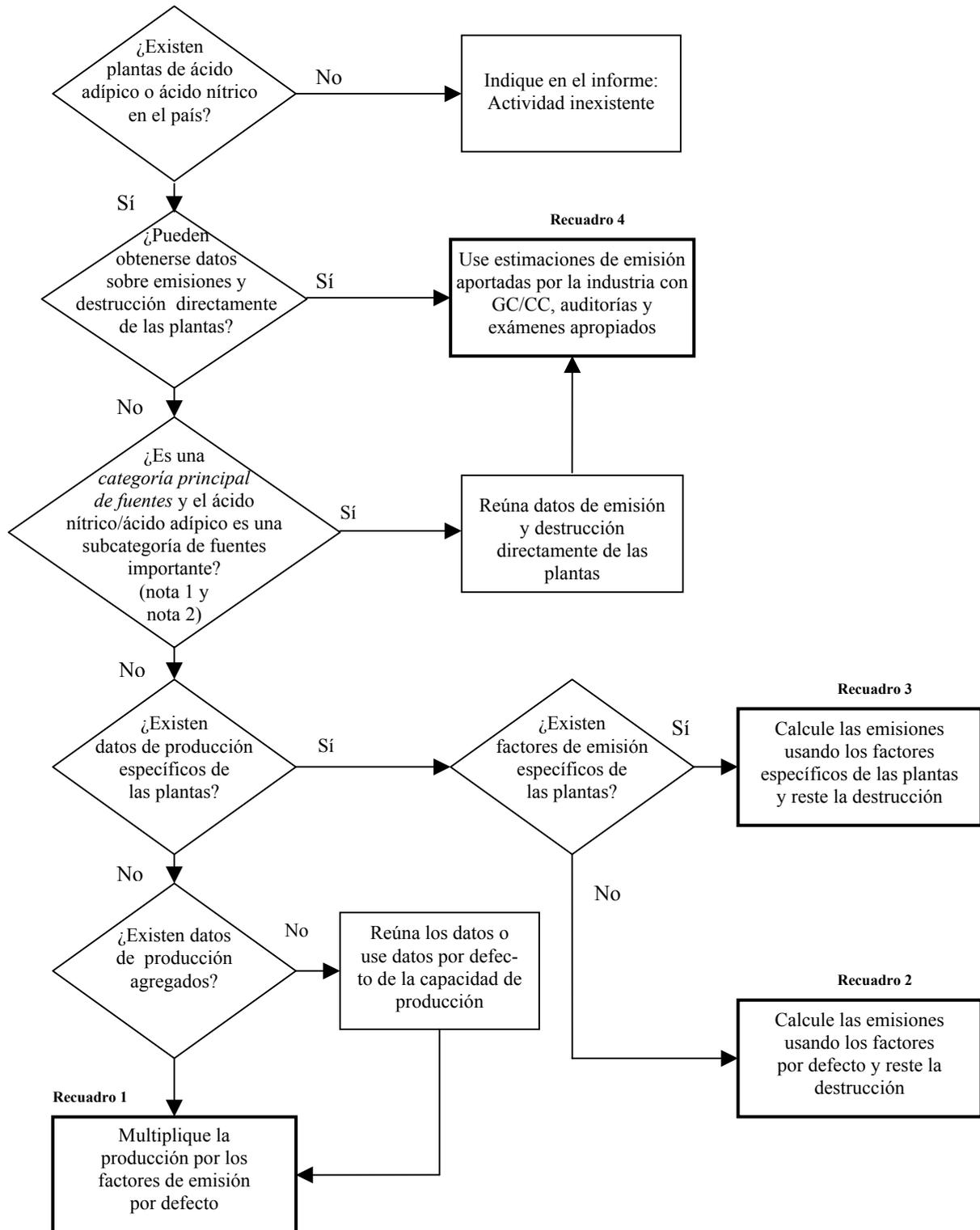
Para lograr la máxima exactitud, es una *buena práctica* aplicar esta ecuación en las plantas utilizando factores de generación y destrucción de N₂O formulados a partir de los datos de medición específicos de cada planta. En este caso, el total nacional es igual a la suma de los totales de las plantas. Cuando no se cuenta con información sobre las plantas, la *buena práctica* aporta factores de generación y de destrucción de N₂O por defecto, como los que se muestran en los cuadros 3.7, “Factores por defecto en la producción de ácido adípico” y 3.8, “Factores por defecto en la producción de ácido nítrico”, basados en los tipos de plantas y las tecnologías de reducción implantadas.

Dada la cantidad relativamente reducida de plantas de ácido adípico (unas 23 en todo el mundo, Choe *et al.*, 1993), obtener información específica de cada planta requiere pocos recursos adicionales. Pero existen más plantas de ácido nítrico (las estimaciones oscilan entre 255 y 600 plantas, según Choe *et al.*, 1993, Bockman y Granli, 1994) y hay mucho mayor variación en los factores de generación de N₂O entre los tipos de plantas. De modo que quizás sea necesario usar factores por defecto con más frecuencia para estimar las emisiones de N₂O procedentes del ácido nítrico. Cuando se usan valores por defecto para estimar las emisiones procedentes de la

¹³ Por lo general, las industrias químicas y otras industrias incluidas en esta sección no están vinculadas, excepto por el hecho de que el ácido nítrico se usa en la fabricación del ácido adípico. Las tecnologías de fabricación y las tecnologías aplicables para reducir el N₂O son muy diferentes en cada una de las industrias.

producción de ácido nítrico, es una *buena práctica* categorizar las plantas según su tipo y usar un factor de generación de N₂O apropiado, en la medida de lo posible.

Figura 3.4 Árbol de decisiones para las emisiones de N₂O procedentes de la producción de ácido adípico y ácido nítrico



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema de inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país, en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las categorías principales de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.)

Nota 2: Como regla empírica, una subcategoría de fuentes sería importante si representa un 25-30% de las emisiones procedentes de la categoría de fuentes.

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Las mediciones en las plantas proporcionan los datos más rigurosos para calcular las emisiones netas (o sea, los factores de generación y destrucción de N_2O). Es práctico vigilar las emisiones de N_2O procedentes de la producción de ácido adípico y ácido nítrico, porque se trata de fuentes puntuales y existe un número finito de plantas de producción. Dada la tecnología disponible actualmente, la instrumentación del muestreo y la vigilancia de las tasas de emisión no limitan la precisión ni la exactitud de la medición en general. Habitualmente, la frecuencia y puntualidad del muestreo bastan para evitar errores sistemáticos y para obtener el grado de exactitud que se desea. Por regla general, es una *buena práctica* proceder al muestreo y análisis cuando en una planta se introducen cambios importantes en el proceso que podrían afectar la tasa de generación de N_2O , y lo bastante a menudo en otros casos como para asegurar que las condiciones de operación son constantes. Además, debería consultarse anualmente a los explotadores de plantas para determinar las tecnologías específicas de destrucción empleadas y confirmar su uso, ya que las tecnologías pueden cambiar con el tiempo. La medición precisa de la tasa de emisiones y de las eficiencias en la reducción requiere la medición tanto de la corriente de salida como de la corriente sin control. Cuando sólo se cuenta con datos de medición sobre la corriente de salida, es una *buena práctica* basar las emisiones en esos datos. En este caso, deberían suministrarse todas las estimaciones disponibles sobre la eficiencia de la reducción, sólo a título informativo y no usarlas para calcular emisiones.

Si no se cuenta con factores para cada planta, es una *buena práctica* usar factores por defecto. Esos valores por defecto suelen representar valores intermedios o promedios de conjuntos de datos (determinados por análisis de expertos). No se sabe hasta qué punto representan la tasa de emisión de una planta determinada. Los factores por defecto sólo deberían usarse en los casos en que no se cuente con mediciones específicas en las plantas.

En el cuadro 3.7, “Factores por defecto en la producción de ácido adípico”, se presentan los factores de emisión por defecto en la producción de ácido adípico y los factores de destrucción de N_2O por defecto para las tecnologías de reducción usadas comúnmente, con las incertidumbres correspondientes. Ese cuadro complementa los valores por defecto indicados en las *Directrices del IPCC*, brindando información acerca de las tecnologías de reducción del N_2O . En caso de no determinarse si se usan tecnologías de reducción, puede producirse una sobrestimación de las emisiones.

El cuadro 3.8, “Factores por defecto en la producción de ácido nítrico”, complementa los factores de emisión para la producción de ácido nítrico provistos en las *Directrices del IPCC* (Vol. 3, sección 2.9, cuadro 2-7, “Factores de emisión para el N_2O procedente de la producción de ácido nítrico”). También incluye más factores de emisión y destrucción para las tecnologías de reducción de NO_x y las correspondientes incertidumbres. Los factores de generación enumerados en el cuadro 3.8 para las plantas que usan reducción catalítica no selectiva (NSCR) ya incorporan el efecto de las medidas de reducción. El factor de destrucción del N_2O para la NSCR que figura en el cuadro 3.8 se ofrece sólo a título informativo y no debería aplicarse a una estimación de las emisiones en que se use el factor de generación por defecto para la NSCR, porque así se contabilizaría la destrucción por partida doble.

CUADRO 3.7 FACTORES POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ADÍPICO		
Proceso de producción	Factor de generación de N₂O^{a,d}	Estimación de la incertidumbre
Oxidación del ácido nítrico	300 kg/tonelada métrica de ácido adípico	± 10% (basado en dictamen de expertos). El rango de 300 kg ± 10% abarca la variabilidad de las materias primas, desde las cetonas puras a los alcoholes puros, y la mayoría de los fabricantes se sitúan en un punto intermedio. ^a
Tecnología de reducción	Factor de destrucción del N₂O^b	Estimaciones de la incertidumbre (distintas de los rangos del factor de destrucción)
Destrucción catalítica	90-95%	± 5% (basado en dictamen de expertos). Se sabe que emplean esta tecnología los siguientes fabricantes: BASF (Scott, 1998) y DuPont (Reimer, 1999b).
Destrucción térmica	98-99%	± 5% (basado en dictamen de expertos). Se sabe que emplean esta tecnología los siguientes fabricantes: Asahi, DuPont, Bayer y Solutia (Scott, 1998).
Reciclado como materia prima para los fenoles	98-99%	± 5% (basado en dictamen de expertos). Se sabe que emplea esta tecnología el siguiente fabricante: Alsachemie (Scott, 1998).
Reciclado como materia prima para el ácido adípico	90-98%	± 5% (basado en dictamen de expertos). Solutia aplicará esta tecnología hacia 2002 (Scott, 1998).
Sistema de reducción	Factor de utilización^c	
Destrucción catalítica	80-98%	Véase la nota c
Destrucción térmica	95-99%	Véase la nota c
Reciclado para el ácido nítrico	90-98%	Véase la nota c
Reciclado para el ácido adípico	80-98%	Véase la nota c

^a Con respecto al valor del Organismo del Medio Ambiente de Japón (264 kg N₂O/tonelada métrica de ácido adípico) indicado en las *Directrices del IPCC*, se cree que este fabricante usa la oxidación de ciclohexanol (alcohol) puro, en vez de una mezcla de cetona-alcohol (Reimer, 1999). Es la única planta que se sabe que emplea este método.

^b El factor de destrucción (que representa la eficiencia de reducción de la tecnología) debería multiplicarse por un factor de utilización del sistema de reducción. Adviértase que este rango no es una estimación de la incertidumbre.

^c Adviértase que estos valores por defecto se basan en dictamen de expertos y no en datos aportados por la industria ni en mediciones específicas de plantas. En los primeros 1-5 años de implantación de la tecnología de reducción, el factor de utilización tiende a estar en el extremo inferior del rango. La menor utilización del equipo es resultado típicamente de la necesidad de aprender cómo hacer funcionar el sistema de reducción y porque se producen más problemas de mantenimiento durante la etapa inicial. Después de 1-5 años, mejora la experiencia en las operaciones y el factor de utilización tendería a estar en el extremo superior del rango.

Fuente:
^dThiemans y Trogler, 1991.
^eReimer, 1999b.

CUADRO 3.8
FACTORES POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DEL ÁCIDO NÍTRICO

Proceso de producción	Factor de generación de N₂O (kg N₂O/ tonelada de ácido nítrico)	Consideraciones especiales
Canadá - plantas sin NSCR ^a - plantas que usan NSCR	8,5 <2	Basado en la tasa media de emisiones para plantas de diseño europeo (Collis, 1999) El factor de generación de N ₂ O da cuenta de la destrucción de N ₂ O por NSCR. Incertidumbre = ± 10% (basado en dictamen de expertos – Collis, 1999).
Estados Unidos - plantas sin NSCR - plantas que usan NSCR	9,5 2	Se estima que un 80% de las plantas de ácido nítrico (HNO ₃) no usan sistemas NSCR (Choe <i>et al.</i> , 1993). El factor de generación de N ₂ O da cuenta de la destrucción de N ₂ O por NSCR. La industria indica un rango de 1,12 a 2,5 kg de N ₂ O/ tonelada métrica de HNO ₃ , los expertos en el terreno han indicado que el extremo inferior del rango es más exacto (Choe <i>et al.</i> , 1993; Collis, 1999). Se eligió un factor de 2 como valor moderado por defecto. Se estima que un 20% de las plantas de HNO ₃ usan sistemas NSCR (Choe <i>et al.</i> , 1993). Incertidumbre = ± 10% (basado en dictamen de expertos).
Noruega - destrucción de N ₂ O integrada en el proceso - planta de presión atmosférica (baja presión) - planta de media presión	<2 4-5 6-7,5	Norsk Hydro preparó un diseño de reactor de avanzada en el cual las emisiones de N ₂ O se reducen de modo integrado en el proceso (Norsk Hydro, 1996). Sólo existe una instalación operacional de este tipo (Oonk, 1999). (Norsk Hydro, 1996) (Norsk Hydro, 1996)
Japón	2,2-5,7	(Organismo del Medio Ambiente de Japón, 1995)
Otros países - Plantas de diseño europeo, presión dual, doble absorción - Plantas más antiguas (pre - 1975) sin NSCR	8-10 10-19	Se han presentado factores de emisión de hasta 19 kg de N ₂ O/tonelada métrica de ácido nítrico para plantas no equipadas con tecnología NSCR (Choe <i>et al.</i> , 1993, EFMA, 1995). Una tasa tan alta de emisiones se aplicaría muy probablemente a las plantas anticuadas (Choe 1993, Cook (1999).
Tecnología de reducción de NO_x	Factor de destrucción de N₂O (%)	Notas
Reducción catalítica no selectiva (NSCR)	80-90	Incertidumbre = ± 10% (basado en dictamen de expertos). La NSCR es un tratamiento típico de los gases residuales en Estados Unidos y Canadá con menos aplicación en otras partes del mundo.
Reducción catalítica selectiva (SCR)	0	La SCR con amoníaco no reduce el N ₂ O.
Absorción extendida	0	
^a Reducción catalítica no selectiva (NSCR).		

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Es una *buena práctica* recopilar datos de actividad (producción) en un grado de detalle coherente con el de los datos de generación y destrucción. Cuando se usan factores de emisión de cada planta, es una *buena práctica* reunir los datos de producción de las plantas. En general, los datos de producción de las plantas son exactos en $\pm 2\%$, debido al valor económico de contar con información exacta. Si no se dispone de datos sobre las plantas, pueden usarse los datos de producción recogidos a escala nacional. Pero para la categoría de fuentes del ácido nítrico, a esas estadísticas tal vez les falte, término medio, la mitad del total nacional (véanse detalles en la sección “Exhaustividad”).

Si no pueden obtenerse datos de actividad ni acerca de las plantas ni en el orden nacional, puede usarse 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 $80\% \pm 20\%$ (o sea, del rango de 60-100%).

EXHAUSTIVIDAD

La cobertura completa para la categoría de fuentes del ácido adípico es correcta, pero en las estadísticas de producción de ácido nítrico recopiladas a escala nacional puede faltar, por término medio, la mitad del total. Algunos estudios en que se comparan las estadísticas mundiales compiladas a partir de datos nacionales sobre la producción de ácido nítrico con estimaciones de la producción mundial aportadas por la industria sugieren que las estadísticas nacionales dan cuenta de sólo el 50 al 70% del total (Bouwman *et al.*, 1995, Olivier, 1999). Esto se debe probablemente a que la producción de ácido nítrico está integrada como parte de procesos más amplios de producción, donde el ácido nítrico nunca entra al comercio y no se computa en las estadísticas nacionales. Por ejemplo, en la fabricación de caprolactamo, los óxidos de nitrógeno producidos por oxidación del amoníaco se usan directamente en el proceso sin previa conversión en ácido nítrico. Si se da cuenta de estas fuentes mediante métodos tales como identificarlos en registros nacionales de las emisiones de NO_x , otro subproducto involuntario de la producción de ácido nítrico, aumentará la exhaustividad.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Deberían calcularse nuevamente las emisiones de N_2O para todos los años cuando se cambien los métodos de cálculo de las emisiones (p.ej., si el organismo encargado del inventario pasa de usar valores por defecto a valores reales determinados para cada planta). Si no se cuenta con datos específicos de cada planta para todos los años de la serie temporal, será necesario considerar cómo pueden usarse las mediciones actuales de la planta para volver a calcular las emisiones para los años anteriores. Quizás sea posible aplicar los factores de emisión actuales específicos de cada planta a los datos de producción de años anteriores, siempre que las operaciones de las plantas no hayan cambiado sustancialmente. Se requiere ese nuevo cálculo para asegurar que todo cambio en las tendencias de las emisiones sea real y no producto de los cambios en el procedimiento. Es una *buena práctica* volver a calcular la serie temporal de conformidad con la orientación suministrada en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Las incertidumbres en los valores por defecto son estimaciones basadas en dictámenes de expertos. En general, los factores de emisión por defecto para el ácido adípico son más seguros que los factores de emisión por defecto para el ácido nítrico, porque están derivados de la estequiometría de una reacción química deliberada (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 debida a diferencias en la composición de la materia prima de la ciclohexanona y el ciclohexanol (o sea, cetona y alcohol) que utilizan diferentes fabricantes. Un mayor contenido de cetona genera más N_2O , mientras que un mayor contenido de alcohol genera menos N_2O (Reimer, 1999a). Cada planta debería poder determinar la producción de N_2O (a base del consumo de HNO_3) dentro del 1%. En cambio, los valores por defecto de la producción de ácido nítrico son mucho más inciertos. Primero, puede generarse N_2O en la sección del reactor de malla de la producción de ácido nítrico como reacción de subproducto involuntario (Cook, 1999). Segundo, el gas de evacuación puede ser tratado o no para controlar los NO_x y el sistema de reducción de NO_x puede reducir o no (o incluso aumentar) la concentración de N_2O en el gas tratado¹⁴.

¹⁴ En algunos casos, los procesos destinados a reducir las emisiones de NO_x pueden generar más N_2O . Se han medido mayores concentraciones de N_2O debido a la tecnología de reducción de NO_x en diversas plantas generadoras que emplean reducción no catalítica para los NO_x (Cook, 1999). Se sabe que, por lo menos en una planta de ácido nítrico, el control de los NO_x produjo más emisiones de N_2O (Burtscher, 1999).

Aunque la incertidumbre asociada con los valores del ácido nítrico es mayor que la de los correspondientes al ácido adípico, las emisiones potenciales de N₂O por tonelada métrica son muy superiores para la producción de ácido adípico. De modo que la incertidumbre asociada con la producción de ácido adípico puede ser más importante cuando se convierte en emisiones de N₂O. Un sistema de vigilancia debidamente mantenido y calibrado puede determinar las emisiones usando la ecuación 3.9 anterior dentro de ±5% del grado de confianza del 95%.

3.2.2 Presentación de datos y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda información necesaria para producir las estimaciones destinadas a los inventarios nacionales de emisiones, como se expone en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”.

A continuación se ofrecen algunos ejemplos de documentación y presentación específica de datos pertinentes para esta categoría de fuentes:

- Descripción del método utilizado;
- Cantidad de plantas de ácido adípico y de ácido nítrico, respectivamente;
- Factores de emisión;
- Datos de producción;
- Capacidad de producción;
- Cantidad de plantas que usan tecnología de reducción;
- Tipo de tecnología de reducción, eficiencia de destrucción y utilización;
- Todo otro supuesto.

Los explotadores de plantas deberían suministrar esta información al organismo encargado del inventario para su compilación y archivar también la información en el sitio. Los explotadores de plantas deberían registrar y archivar también las frecuencias de medición y los informes de calibración del instrumental cuando se hacen mediciones reales en las plantas.

Cuando existen sólo uno o dos productores en un país, como podría ocurrir a menudo en el caso de la producción de ácido adípico, quizás se consideren confidenciales los datos de actividad. En ese caso, los explotadores y el organismo encargado del inventario deberían determinar el grado de agregación con que puede presentarse la información a la vez que se protege la confidencialidad. Aun así, debería archiversse en la planta información detallada, incluso registros de la instrumentación.

No es práctico incluir toda la documentación en el informe del inventario nacional. Pero el inventario debería contener resúmenes de los métodos empleados y referencias a los datos fuente, de modo que las estimaciones de las emisiones presentadas sean transparentes y puedan rastrearse las etapas seguidas para calcularlas.

3.2.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buena práctica* realizar exámenes de control de calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad, como se expone en la sección 8.7, “Procedimientos específicos de CC para cada categoría de fuentes (nivel 2)”, del capítulo 8 y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta

RECUADRO 3.1

OTRAS FUENTES INDUSTRIALES POTENCIALES DE N₂O

En el Manual de referencia de las *Directrices del IPCC* se identifican varias otras categorías de fuentes potenciales de N₂O de magnitud desconocida, pero que se cree que son pequeñas. Las categorías de fuentes potenciales de N₂O de origen industrial sin combustión son: producción de caprolactamo, producción de urea, producción petroquímica, agentes propulsores y espumantes, humos de explosivos, producción de ácido dodecanodioico (DDDA o 3DA) y barrido de humos de los tanques de ácido adípico y ácido nítrico. Los organismos encargados de los inventarios que cuantifiquen esas categorías de fuentes deberían presentar los datos en sus inventarios y aportar documentación sobre su método. Esa información podría ofrecer una base para revisiones posteriores de las *Directrices del IPCC*.

categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* que se identifican en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Además de la orientación que se brinda en el capítulo 8, se exponen a continuación procedimientos específicos de importancia para esta categoría de fuentes.

Comparación de las estimaciones de las emisiones usando diferentes enfoques

Si las emisiones se calculan usando datos de plantas individuales de ácido adípico y ácido nítrico (enfoque de abajo a arriba), los organismos encargados de los inventarios deberían comparar la estimación con las emisiones calculadas usando datos de la producción nacional (enfoque de arriba a abajo). Deberían registrar los resultados e investigar toda discrepancia no explicada.

Como las categorías de fuentes industriales de N₂O son relativamente pequeñas en comparación con otras fuentes antropogénicas y naturales, no es viable comparar las emisiones con las tendencias medidas en las concentraciones de N₂O en la atmósfera.

Datos de las plantas

Los organismos encargados de los inventarios deberían archivar información suficiente para permitir una revisión independiente de la serie temporal de emisiones a partir del año base y explicar las tendencias de las emisiones cuando se hagan comparaciones históricas. Esto es particularmente importante en los casos en que es necesario hacer nuevos cálculos, por ejemplo, cuando un organismo encargado del inventario pasa de usar valores por defecto a usar los valores reales determinados para cada planta.

Revisión de las mediciones directas de las emisiones

Si se cuenta con mediciones del N₂O en las plantas, los organismos encargados de los inventarios deberían confirmar que se han usado métodos corrientes internacionalmente reconocidos. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, deberían evaluar el uso de esos datos de las emisiones. Además, deberían reconsiderar las estimaciones de la incertidumbre a la luz de los resultados de la GC/CC.

Los organismos encargados de los inventarios deberían comparar los factores basados en las plantas con los valores por defecto del IPCC para asegurarse de que los factores específicos de cada planta sean razonables. Deberían explicar y documentar toda diferencia entre los factores específicos de las plantas y los factores por defecto, particularmente toda diferencia en las características de las plantas que pueda causar esas diferencias.

3.3 EMISIONES DE PFC PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO

3.3.1 Aspectos metodológicos

Se sabe que en el proceso de fundición primaria del aluminio se emiten dos PFC, el tetrafluorometano (CF_4) y el hexafluoroetano (C_2F_6). Esos PFC se forman durante el fenómeno conocido como efecto de ánodo (EA), cuando es baja la concentración de óxido de aluminio en el electrólito de la cuba de reducción.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

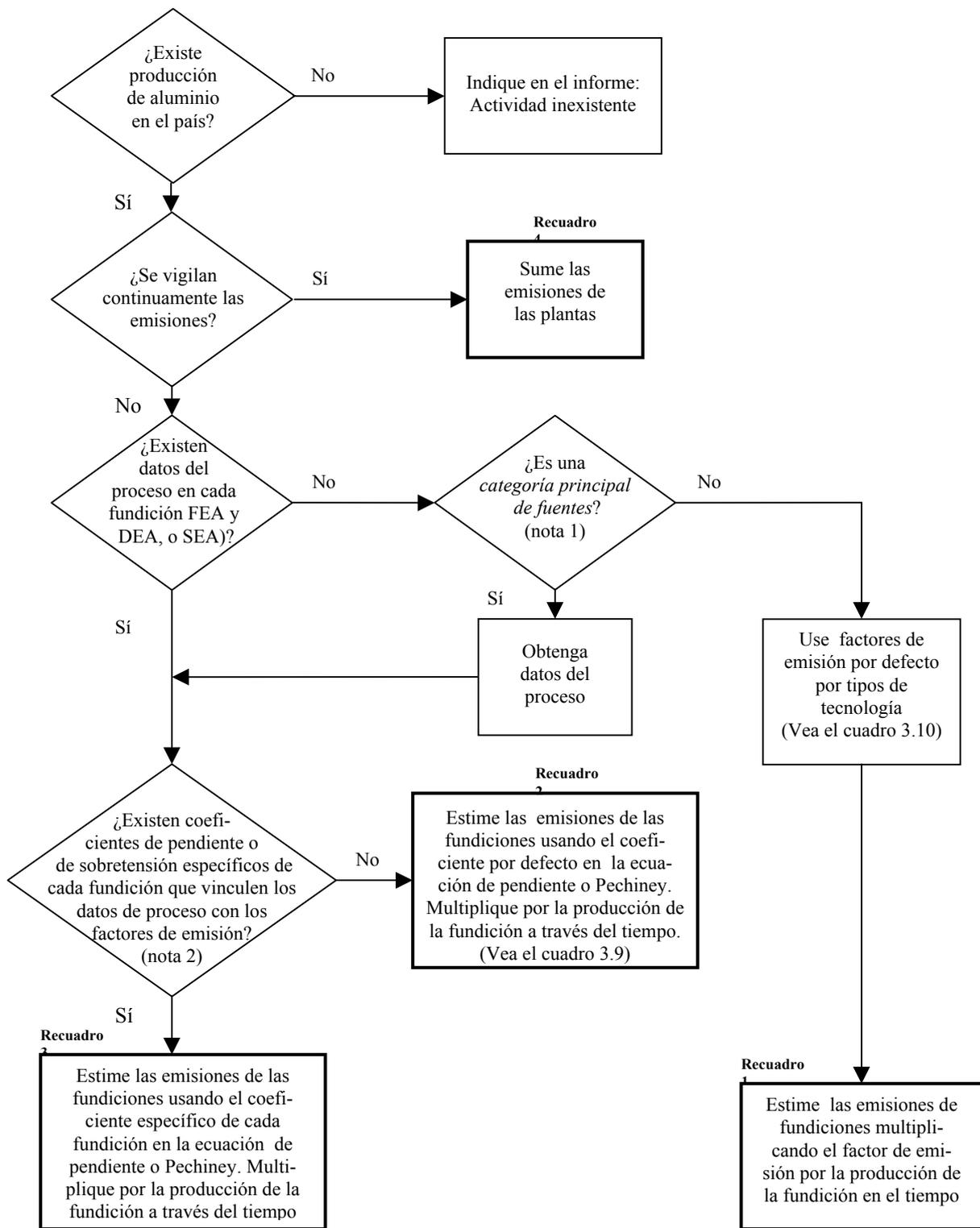
La elección de un método de *buena práctica* dependerá de las circunstancias nacionales. En el árbol de decisiones de la figura 3.5, “Árbol de decisiones para las emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio”, se describe la *buena práctica* para adaptar los métodos que figuran en las *Directrices del IPCC* a esas circunstancias específicas de cada país. El árbol de decisiones debería aplicarse por separado para la estimación de las emisiones de CF_4 y de C_2F_6 .

En las *Directrices del IPCC* se describen tres métodos generales para estimar las emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio (Vol.3, sección 2.13.6, “PFC procedentes de la producción de aluminio”). Estos tres métodos corresponden a distintos niveles, pero no están identificados como tales. En aras de la coherencia con otras secciones de las *Directrices del IPCC* y con la *orientación sobre buenas prácticas*, los métodos presentados en las *Directrices del IPCC* se mencionan en esta sección como niveles.

El método más exacto consiste en vigilar continuamente las emisiones de cada fundición (nivel 3a) o elaborar una relación a largo plazo específica de cada fundición entre emisiones medidas y parámetros de operación y aplicar esa relación usando datos de actividad (nivel 3b). El método de nivel 3b requiere amplias mediciones para desarrollar la relación específica de cada fundición y la recopilación continua de datos de los parámetros de operación (p.ej., frecuencia y duración de los efectos de ánodo y la sobretensión del efecto de ánodo¹⁵) y de datos de producción. Cuando no se ha elaborado una relación específica para una fundición pero existe información sobre los parámetros de operación y sobre la producción, pueden usarse coeficientes por defecto de la pendiente y la sobretensión específicas de la tecnología (nivel 2). Cuando la única información disponible es la cantidad anual de aluminio producida, pueden usarse factores de emisión por defecto por tipos de tecnología (nivel 1). El grado de incertidumbre en el método de nivel 1 será mucho mayor que para las estimaciones producidas usando métodos de nivel 3 o de nivel 2.

¹⁵ La sobretensión del efecto de ánodo indica la fluctuación en la tensión que se produce durante el efecto de ánodo.

Figura 3.5 Árbol de decisiones para las emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema de inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país, en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las categorías principales de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.)

Nota 2: En los casos en que una fundición tenga más de una tecnología de cuba distinta, la fundición debe medir/usar coeficientes de emisión específicos para cada tecnología.

Método de nivel 3a – Vigilancia continua de las emisiones

La vigilancia continua de las emisiones es posible y es el medio más exacto de determinar las emisiones. Pero, dadas las probables consideraciones de costos y otros recursos, no se considera necesaria para una *buen práctica*. Véanse detalles sobre técnicas de medición directa en el recuadro 3.2, “Técnicas de medición directa”, a continuación.

RECUADRO 3.2
TÉCNICAS DE MEDICIÓN DIRECTA

El muestreo y la medición deben realizarse conforme a una norma de *buena práctica* para asegurar la exactitud de los datos, lo cual significa que:

- Las mediciones de los PFC en las fundiciones deberían tener en cuenta tanto las emisiones captadas por el sombrerete de la cuba de reducción y extraídas por la chimenea de evacuación de emanaciones, como las emisiones fugitivas que se descargan en la atmósfera de la sala de cubas¹⁶. Idealmente, esos datos pueden obtenerse por medición directa de los PFC en la chimenea y de las emisiones fugitivas. O bien, puede realizarse la medición directa de PFC en las emisiones de la chimenea junto con una cuidadosa medición de la eficiencia de captación del sombrerete de la cuba, que permita calcular las emisiones fugitivas.
- Mediante una tecnología de análisis deberían poder medirse simultáneamente tanto el CF₄ como el C₂F₆. Existen varias tecnologías de análisis apropiadas. La tecnología elegida debe tener un rango dinámico apropiado para la medición de las concentraciones previstas de las emisiones de la chimenea y las emisiones fugitivas. La sensibilidad de la detección debería permitir una medición fiable en los volúmenes más bajos previstos en las chimeneas de evacuación de la cuba electrolítica y para las emisiones fugitivas cuando dichas emisiones fugitivas representan un 5% o más del total de las emisiones de PFC. El rango dinámico del dispositivo de medición debería ser capaz de mediciones fiables hasta la máxima concentración que haya que medir. Para las emisiones de la chimenea, eso significa un rango de medición de las concentraciones de 0 a 1000 ppmv (partes por millón en volumen). Las mediciones deberían normalizarse en cuanto a temperatura y presión y esas condiciones de medición deben presentarse y registrarse con las mediciones de las concentraciones que se usarán al calcular las emisiones masivas.
- Las mediciones de la corriente volumétrica de gas en la chimenea deberían realizarse según normas nacional o internacionalmente reconocidas. Las mediciones de la corriente de gas deberían realizarse durante del programa de medición de las concentraciones a intervalos suficientes para asegurar una representación exacta de la corriente volumétrica de gas. Las mediciones deberían normalizarse en cuanto a temperatura y presión y esas condiciones de medición deben presentarse y registrarse con las mediciones de la corriente que se usarán al calcular las emisiones masivas.
- Durante la campaña de medición debería procederse a calibrar los instrumentos de análisis a intervalos regulares. El calendario de calibraciones necesario variará según el tipo y la estabilidad conocida del instrumental de análisis utilizado, pero debe ser suficiente para minimizar el efecto de deriva de calibración de los instrumentos. Los resultados de todas las calibraciones deberían presentarse y registrarse con la medición de las concentraciones. Las mediciones afectadas por la deriva deberían omitirse en las estimaciones de las emisiones. Los gases de calibración deberían poder rastrearse según normas nacionales o internacionales reconocidas. El método de calibración debería documentarse y registrarse minuciosamente con las mediciones de las emisiones. En el capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, se ofrece asesoramiento general sobre la representatividad del muestreo.

¹⁶ Sala de cubas (“potroom”) es el término corriente en la industria para designar un gran ambiente en el cual se albergan las cubas de reducción o crisoles (“pots”). Las cubas de fundición tienen sombreretes que, según el diseño, antigüedad, etc. de la fundición, tendrán diversa eficiencia para la recolección de emanaciones. Las emanaciones recogidas se transportan por cañerías hasta una instalación de depuración de emanaciones, donde se eliminan otros contaminantes. Las emanaciones que escapan del sombrerete pueden ser recogidas en un colector de fugas y también transportadas a la instalación depuradora de emanaciones o emitidas a la atmósfera a través del techo de la sala de cubas. Como esos ambientes pueden tener hasta un kilómetro de longitud y 20 metros de ancho o más, tal vez no sea viable obtener mediciones exactas de las emisiones fugitivas. Por lo tanto, se requieren mediciones de los PFC en las emanaciones recogidas y en las emanaciones fugitivas, o mejor dicho, mediciones de las emanaciones recogidas junto con una amplia comprensión de la eficiencia en la recolección de las emanaciones, para asegurar que se incluyan en las estimaciones los PFC captados por el sistema de depuración, junto con las emisiones fugitivas.

Método de nivel 3b – Relación específica de cada fundición entre las emisiones y los parámetros de operación basados en mediciones en el terreno

En este método se emplean mediciones periódicas para establecer una relación específica de cada fundición entre los parámetros de operación (o sea, la frecuencia y duración de los efectos de ánodo o la sobretensión de efecto de ánodo) y las emisiones de CF_4 y C_2F_6 . Una vez establecida, esa relación puede usarse junto con los datos de proceso reunidos de manera continua, para estimar los factores de emisión a través del tiempo. Esos factores de emisión se multiplican por la producción específica de cada fundición (toneladas métricas) para estimar las emisiones de la fundición. Se agregarán las estimaciones de las emisiones en todas las fundiciones para estimar las emisiones nacionales.

Pueden usarse la siguientes relaciones de estimación:

Método de pendiente: En este método se usa una relación lineal de mínimos cuadrados entre minutos de efecto de ánodo (EA) por cuba-día¹⁷ y las emisiones, expresada como un factor de emisión (FE):

ECUACIÓN 3.10

$$\text{FE (kg de } \text{CF}_4 \text{ o } \text{C}_2\text{F}_6 \text{ por tonelada métrica de Al)} = \text{Pendiente} \cdot \text{min EA / cuba-día}$$

Para elaborar una estimación exacta de la pendiente, se requieren mediciones simultáneas de las emisiones y recopilación de datos del efecto de ánodo durante un período apropiado. El método de pendiente es una variante del **enfoque de Tabereaux**, que se describe en las *Directrices del IPCC*:

RECUADRO 3.3 ENFOQUE DE TABEREAUX

$$\text{Pendiente} = 1,698 \cdot (p / \text{EfA}) \text{ y } \text{min EA / cubas-días} = \text{CEA} \cdot \text{DEA}$$

Donde:

p = Fracción media de CF_4 en el gas de la cuba durante los efectos de ánodo para la pendiente de CF_4

o

Fracción media de C_2F_6 en el gas de la cuba durante los efectos de ánodo para la pendiente de C_2F_6

EfA = Eficiencia actual en el proceso de producción de aluminio, expresada como una fracción más que como un porcentaje

CEA = Cantidad de efectos de ánodo por cuba-día

DEA = Duración del efecto de ánodo en minutos

Método de sobretensión de Pechiney: En este método se usa la sobretensión del efecto de ánodo como el parámetro importante en el proceso. La sobretensión del efecto de ánodo es la tensión extra en la cuba, superior a 8V, provocada por los efectos de ánodo, cuando se promedia en un lapso de 24-horas (mV/día). La fórmula de correlación fue derivada de mediciones de la generación de PFC en las fundiciones con tecnología de Pechiney, expresada como un factor de emisión (FE):

ECUACIÓN 3.11

$$\text{FE (kg de } \text{CF}_4 \text{ o de } \text{C}_2\text{F}_6 \text{ por tonelada métrica de Al)} = \text{Coeficiente de sobretensión} \cdot \text{SEA / EfA}$$

Donde:

SEA = Sobretensión del efecto de ánodo en mV/cuba-día

EfA = Eficiencia actual del proceso de producción de aluminio expresada como porcentaje

¹⁷ La expresión “cuba-día” significa realmente “cantidad de cubas en operación multiplicada por la cantidad de días de operación”. En una fundición, esto se calcularía generalmente (para determinado período, p.ej., un mes o un año) usando “la cantidad media de cubas en operación en la fundición durante determinado período multiplicada por la cantidad de días dentro del período”.

Método de nivel 2 – Relación específica de cada fundición entre las emisiones y los parámetros de operación basada en una pendiente por defecto fundada en la tecnología y los coeficientes de sobretensión

Si no se cuenta con datos de medición para determinar la pendiente o los coeficientes de sobretensión específicos de la fundición, pueden usarse los coeficientes por defecto junto con los parámetros de operación específicos de cada fundición. Los coeficientes por defecto que son *buena práctica* se enumeran en el cuadro 3.9, “Coeficientes por defecto para calcular las emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio (métodos de nivel 2)”.

Método de nivel 1 – Factores de emisión basados en la producción

El método más simple de estimación consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por la producción de aluminio. Cuando los únicos datos de actividad disponibles específicos de una fundición son las estadísticas de producción de metal, es una *buena práctica* usar los factores de emisión por defecto (véase Elección de los factores de emisión).

Los coeficientes de pendiente (método de nivel 2) y los factores de emisión (método de nivel 1) por defecto fueron formulados utilizando datos disponibles de estudios del Instituto Internacional de Aluminio Primario (IPAI) y otros datos de medición en el terreno (Bouzat *et al.*, 1996; Leber *et al.*, 1998; Marks, 1998; Roberts *et al.*, 1994a y 1994b; Kimmerle *et al.*, 1998; Marks *et al.*, 2000). La limitada información disponible sobre algunos datos requirió el dictamen de expertos con respecto a la propiedad de algunos conjuntos de mediciones. Por ejemplo, los factores de emisión por defecto en el método de nivel 1 de horno Søderberg de barra horizontal (HSS) se calcularon usando datos de 1991, no de 1990.

Siempre que sea posible, debería usarse la coherencia de los datos de medición disponibles estudiados por diferentes períodos y en diferentes fundiciones, para confirmar un grado importante de confianza acerca de la magnitud y la tendencia de los factores de emisión y de los coeficientes.

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Método de nivel 3b

En este método, es una *buena práctica* determinar los coeficientes de los modelos usando *mediciones específicas para cada fundición*. Los coeficientes específicos para cada fundición deberían basarse en amplias mediciones de las emisiones de CF_4 y C_2F_6 con recopilación simultánea de datos sobre el proceso. Esto significa que los factores de emisión deberían reflejar las condiciones específicas de una planta y las tecnologías que se aplican. Los factores de emisión deben medirse durante un período que refleje la variabilidad del proceso y tenga en cuenta tanto las emisiones captadas por el sistema de recolección de emanaciones como las emisiones fugitivas (si esta subcategoría de fuentes es importante comparada con las emisiones captadas por el sistema de control de emanaciones). En el recuadro 3.2, “Técnicas de medición directa”, se ofrece orientación sobre algunos aspectos de las técnicas de medición directa. Es una *buena práctica* prestar atención a esos enfoques al implantar un programa de muestreo y medición¹⁸.

Método de nivel 2

Si no se cuenta con mediciones específicas en una fundición, pueden usarse coeficientes por defecto. Los coeficientes por defecto se presentan, por tipo de tecnología, en el cuadro 3.9, “Coeficientes por defecto para calcular las emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio (métodos de nivel 2)”¹⁹. Los coeficientes por defecto deben aplicarse por tipo de tecnología dentro de cada fundición. Si se usa más de una tecnología en una fundición, deben aplicarse los coeficientes por defecto apropiados en forma separada a cada sector tecnológico.

¹⁸ Otros métodos pueden incorporar un factor explícito que representa una contribución de las cubas en que se acaba de iniciar el proceso. Los coeficientes de pendiente específicos de cada fundición formulados en el nivel 3b incorporarán esas emisiones.

¹⁹ En los programas actuales de medición se está mejorando la cantidad y calidad de los datos disponibles. Estos datos deberían estar disponibles a principios de 2000 y pueden sustituir los valores provistos en el cuadro 3.9.

CUADRO 3.9 COEFICIENTES POR DEFECTO PARA CALCULAR LAS EMISIONES DE PFC PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO (MÉTODOS DE NIVEL 2)						
Tecnología ^a	Pendiente ^{b,d} [(kg PFC/t _{Al}) / (minutos de EA/cuba-día)]				Coeficiente de sobretensión ^b [(kg PFC/t _{Al}) / (mV/cuba-día)]	
	CF ₄	Incertidumbre	C ₂ F ₆	Incertidumbre	CF ₄	C ₂ F ₆
CWPB	0,14	±0,009	0,018	±0,004	1,9	ND
SWPB	0,29	±0,02	0,029 ^c	±0,01	1,9	ND
VSS	0,068 ^g	±0,02	0,003 ^g	±0,001	Véase la nota e	–
HSS	0,18 ^f		0,018		–	–

^a Precocido central (CWPB), precocido lateral (SWPB), Søderberg de barra vertical (VSS), Søderberg de barra horizontal (HSS).
^b Fuente: IPAI, mediciones en el terreno de EPA y otros datos de mediciones de empresas.
^c No hay datos suficientes para establecer un coeficiente de pendiente para las emisiones de C₂F₆ procedentes de cubas SWPB basado en datos de medición; por lo tanto, es una *buena práctica*, coherente con las *Directrices del IPCC*, usar un valor por defecto de un décimo del coeficiente del CF₄.
^d Está incluida en cada coeficiente de pendiente la siguiente eficiencia supuesta en la recolección de emisiones: CWPB 95%, SWPB 90%, VSS 85%, HSS 90%. Esas eficiencias en la recolección han sido supuestas basándose en opiniones de expertos. Aunque la eficiencia en la recolección de las cubas de HSS puede variar, los datos de medición de empresas usados para calcular esos coeficientes son coherentes con una eficiencia en la recolección de por lo menos 90%.
^e Los coeficientes de sobretensión no son pertinentes para las tecnologías VSS y HSS.
^f Los coeficientes de pendiente del HSS se basan en datos de una encuesta del IPAI en 1991.
^g Debería profundizarse la medición de emisiones y el análisis de la incertidumbre para el VSS. Estos coeficientes por defecto se basan en una reducida cantidad de datos y se prevé que la incertidumbre podría ser mayor que para los otros coeficientes (Bjerke, 1999a y Bjerke *et al.*, 1999b).
 ND = no disponible.

Método de nivel 1

El método más sencillo consiste en multiplicar los factores de emisión por defecto por la producción de aluminio. Los factores de emisión por defecto presentados por tipos de tecnología se encuentran en las *Directrices del IPCC*. Es una *buena práctica* basar esos factores en mediciones actualizadas recientemente y en los factores de emisión por defecto revisados y los correspondientes rangos de incertidumbre que se presentan a continuación, en el cuadro 3.10, “Factores de emisión y rangos de incertidumbre por defecto para calcular las emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio (por tipos de tecnología)”. Como el método de nivel 1 es el más inseguro de los tres enfoques, es una *buena práctica* usar los factores de emisión por defecto como método de último recurso, cuando sólo se cuenta con estadísticas de la producción de metal.

CUADRO 3.10 FACTORES DE EMISIÓN Y RANGOS DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO PARA CALCULAR LAS EMISIONES DE PFC PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO (POR TIPOS DE TECNOLOGÍA)				
Tecnología	CF ₄		C ₂ F ₆	
	kg/tonelada métrica de Al ^e	Rango de incertidumbre ^a	kg/tonelada métrica de Al ^e	Rango de incertidumbre ^a
CWPB	0,31	0,0003-1,3	0,04	0,00004-0,2
SWPB	1,7	0,8-3,8	0,17 ^b	0,08-0,4
VSS	0,61 ^c	0,4-1,1	0,061 ^c	0,04-0,1
HSS	0,6 ^d	0,0006-1,4	0,06 ^d	0,00006-0,13

^a La incertidumbre fue estimada por la reunión del grupo de expertos del IPCC en Washington con un intervalo de confianza del 95%, basándose en datos de la varianza del minuto de efecto de ánodo tomados de los datos de la encuesta del IPAI para 1990 (o 1991 para el HSS) para cada tipo de tecnología.
^b No hay datos suficientes para establecer un factor de emisión para las emisiones de C₂F₆ de las cubas del SWPB a partir de datos de medición; por ende es una *buena práctica* un valor por defecto de 1/10 del coeficiente de CF₄, coherente con las *Directrices del IPCC*.
^c Los factores de emisión por defecto del VSS se basan en el IPAI, mediciones en el terreno de EPA y otros datos de mediciones de empresas en 1990. Esos factores por defecto se basan en reducidas cantidades de datos y se prevé que la incertidumbre podría ser mayor que para otros factores (Bjerke, 1999^a y Bjerke *et al.*, 1999b).
^d Los factores de emisión por defecto del HSS se basan en datos de una encuesta del IPAI en 1991.
^e Fuente: IPAI, mediciones en el terreno de EPA y otros datos de mediciones de empresas en 1990, excepto para el HSS, que se basa en datos de 1991 (Bjerke, 1999^a y Bjerke *et al.*, 1999b).

Es una *buena práctica* aplicar los factores de emisión por defecto que se basan en datos de medianas de frecuencia y duración del efecto ánodo en 1990 (o en 1991 para el HSS), para todos los años en que no existen datos de proceso (efecto de ánodo), salvo que puedan demostrarse de otro modo.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Es una *buena práctica* registrar la información que se requiere para los métodos de nivel 3b y de nivel 2 con respecto a la frecuencia y duración de los efectos de ánodo y a la sobretensión del efecto de ánodo y los datos de producción de las plantas. Debería consultarse a las distintas empresas o grupos industriales para asegurarse de que existen datos en un formato utilizable para la estimación de inventarios. Para el método de nivel 1, los datos de actividad consisten en las estadísticas de producción que deberían suministrar las empresas acerca de sus plantas. Es probable que la incertidumbre en los datos de producción (toneladas métricas de aluminio) sea reducida en la mayoría de los países. Dada la previsible disponibilidad universal de datos de producción, los datos sobre capacidad de producción sólo deberían usarse para comprobar las estadísticas de producción.

EXHAUSTIVIDAD

En principio, debería haber estadísticas de producción disponibles sobre todas las fundiciones. Es una *buena práctica* agregar las estimaciones de las emisiones de cada fundición para estimar el total nacional de las emisiones. Todos los miembros del IPAL, que representan el 60% de la capacidad mundial en 1999, presentan datos de producción. Si no se cuenta con datos de producción acerca de las fundiciones, pueden usarse datos sobre la capacidad de las fundiciones, junto con los datos agregados de la producción nacional, para estimar la producción de cada fundición. Todos los organismos encargados de los inventarios deberían estar en condiciones de aplicar en un grado mínimo el método de nivel 1 y asegurar la exhaustividad en la presentación de los resultados. No hay ninguna razón para presentar los términos ND (no disponible) y NE (no estimado) en esta categoría de fuentes. Cuando se miden las emisiones para mantener una vigilancia continua o con el fin de calcular los coeficientes de emisión o los factores de emisión, la cobertura completa de las emisiones en las fundiciones para esta categoría de fuentes requiere la estimación de las emisiones de CF₄ y C₂F₆ procedentes de la chimenea de evacuación y del techo de la sala de cubas o una buena comprensión de la eficiencia de recolección.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Si se cuenta con todos los datos históricos necesarios (p.ej., estadísticas de producción, DEA y FEA o SEA), pueden estimarse las emisiones para todo el período usando el método de *buena práctica* apropiado.

Cuando faltan algunos datos históricos, es una *buena práctica* usar las mediciones específicas de cada planta disponibles para establecer una relación aceptable entre las emisiones y los datos de actividad en el año base. Para aplicar retroactivamente una relación, es necesario contar con registros de los datos de proceso. La mayoría de las fundiciones debería tener registros de los datos de proceso, quizás con algunas excepciones regionales. Además de conservar datos históricos, cada fundición debe poder demostrar que la relación que se aplicará retroactivamente es aplicable a sus condiciones históricas de operación (o sea, que no ha habido ningún cambio tecnológico o de funcionamiento importante)²⁰. Para asegurar la coherencia a través del tiempo, si cambia el método de estimación para una fundición es una *buena práctica* volver a calcular las estimaciones de las emisiones usando tanto las metodologías antiguas como las presentes para asegurar que cualquier tendencia en las emisiones es real y no provocada por el cambio en las metodologías de estimación. Esos nuevos cálculos deberían realizarse de conformidad con la orientación suministrada en la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”, y deberían documentarse claramente todos los supuestos.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Es posible aplicar enfoques cuantitativos de estadística clásica para estimar los rangos de incertidumbre para los métodos de nivel 1, nivel 2 y nivel 3. En los cuadros 3.9, “Coeficientes por defecto para calcular las emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio (métodos de nivel 2)” y 3.10, “Factores de emisión y rangos de incertidumbre por defecto para calcular las emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio (por

²⁰ Si se usa el método de nivel 3b, debería recurrirse a dictamen de expertos para determinar si un cambio importante en las operaciones o en la tecnología en una fundición exigirá formular un nuevo coeficiente de pendiente específico para la fundición.

tipos de tecnología”, se ofrecen estimaciones de la incertidumbre asociada con los factores de emisión para los métodos de nivel 1 y nivel 2. El método usado para derivar esos valores fue una combinación de estadística clásica (estimaciones “dos sigmas”) y dictamen de expertos. La incertidumbre para los factores por defecto en el método de nivel 1 es significativamente más elevada que en los métodos de nivel 3 y nivel 2, porque en estas estimaciones no se reflejan las condiciones de operación específicas de cada fundición.

Se prevé que la incertidumbre asociada con la FEA y la DEA o con la CEA, cuando se mida, será baja, pero dependerá de las frecuencias de barrido de la computadora (p.ej., las frecuencias de barrido prolongadas producirán más incertidumbres) y de los sistemas de recopilación de datos en cada sitio.

3.3.2 Presentación de datos y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para producir las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se expone en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”.

A continuación se ofrecen algunos ejemplos de documentación específica y presentación de datos pertinentes para esta categoría de fuentes.

No es práctico incluir toda la documentación en el informe del inventario nacional. Pero el inventario debería contener resúmenes de los métodos empleados y referencias a los datos de las fuentes, de modo que las estimaciones de las emisiones presentadas sean transparentes y puedan rastrearse las etapas seguidas para calcularlas.

Para aumentar la transparencia, es una *buena práctica* presentar estimaciones de las emisiones de los PFC procedentes de la producción de aluminio separadas de otras categorías de fuentes. Además, es *buena práctica* que las emisiones de CF_4 y C_2F_6 se presenten por separado *a base de su masa* y como equivalente de CO_2 ²¹.

Los métodos de *buena práctica* requieren datos exactos de la frecuencia del efecto de ánodo (FEA) y de la duración del efecto de ánodo (DEA) para todos los tipos de cubas, excepto en la tecnología de Pechiney, que requiere datos exactos de la sobretensión del efecto de ánodo (SEA). Deberían presentarse estimaciones del error estadístico para la FEA y la DEA o para la SEA.

Es una *buena práctica* archivar en cada empresa la siguiente información sobre el sistema de control por computadora que se incluirá en las estimaciones del error estadístico:

- i) Tensión de disparo del EA; la tensión que define el comienzo de un EA;
- ii) Tensión de terminación del EA; la tensión que define el fin de un EA;
- iii) Frecuencia de barrido; la frecuencia con que se mide la tensión en la cuba;
- iv) Período de promediación de la tensión; el período usado para calcular la tensión media que se compara con las tensiones de disparo y de terminación.

La información fundamental necesaria para asegurar la transparencia en las estimaciones de las emisiones presentadas se muestra a continuación en el cuadro 3.11, “Información sobre buenas prácticas de presentación de las emisiones de PFC procedentes de la producción de aluminio por niveles”.

Gran parte de los datos de producción y de proceso son considerados de su propiedad por los explotadores, especialmente cuando existe una sola fundición en un país. Es una *buena práctica* aplicar técnicas apropiadas, incluso la agregación de datos, para asegurar la protección de los datos confidenciales.

²¹ Según la *buena práctica*, los PCA usados deberían ser coherentes con las *Orientaciones para la preparación de comunicaciones nacionales por las Partes que figuran en el Anexo I de la Convención, parte I: Orientaciones de la CMCC para la presentación de inventarios (Orientaciones de la CMCC)*.

CUADRO 3.11 INFORMACIÓN SOBRE BUENAS PRÁCTICAS PARA LA PRESENTACIÓN DE LAS EMISIONES DE PFC PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO POR NIVELES			
Datos	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 1
Producción anual por fundición (por tecnologías)	x	x	x
Minutos de efecto de ánodo por cuba-día (cubas no Pechiney)	x	x	
Sobretensión del efecto de ánodo (mV/cuba-día) (cubas Pechiney)	x	x	
Coefficientes de emisión	x	x	
Factor de emisión	x	x	x
PCA	x	x	x
Documentación fundamental	x	x	x

3.3.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buena práctica* realizar exámenes de control de calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad, como se expone en la sección 8.7, “Procedimientos específicos de CC para cada categoría de fuentes (nivel 2)”, del capítulo 8 y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* que se identifican en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Se exponen a continuación otros procedimientos específicos para la producción de aluminio.

Comparación de los factores de emisión

Los organismos encargados de los inventarios deberían examinar si los factores de emisión estimados están dentro del rango de los factores de emisión por defecto presentados para el método de nivel 1. Si los factores de emisión están fuera de ese rango, deberían evaluar y documentar las condiciones específicas de la fundición en cuestión que explican las diferencias. Quizás sea necesario repetir las mediciones con fines de validación.

Examen de los datos específicos de las plantas

Se requieren los siguientes datos específicos de las plantas para proceder a una auditoría apropiada de las estimaciones de las emisiones:

- Datos de producción;
- Registros de los datos de proceso;
- Método de cálculo y estimación;
- Lista de supuestos;
- Documentación del muestreo, del método de medición y de los resultados de la medición.

Si se recopilan mediciones de las emisiones de plantas individuales, los organismos encargados de los inventarios deberían asegurarse de que las mediciones se han hecho de conformidad con normas nacionales o internacionales reconocidas. Los procedimientos de CC que se aplican en el sitio deberían ser citados directamente e incluidos en el plan de CC. Si las prácticas de medición no han sido coherentes con las normas de CC, el organismo encargado del inventario debería reconsiderar el uso de esos datos.

Verificación de las estimaciones de las emisiones

Las mediciones mundiales de las concentraciones de CF_4 y C_2F_6 en la atmósfera pueden proporcionar un límite superior de las emisiones mundiales totales de los PFC procedentes de todas las categorías de fuentes (Harnisch *et al.*, 1998). Esto puede usarse para examinar las estimaciones de las emisiones en todas las categorías de fuentes de producción internacional de aluminio y potencialmente para evaluar la coherencia de los factores y los coeficientes de emisión. Aunque puede ser factible examinar las estimaciones de las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes mediante mediciones externas de los penachos de las fundiciones, los procedimientos para hacerlo no son prácticos, dado el estado actual de la tecnología, y no se requieren como *buena práctica*.

3.4 EMISIONES DE SF₆ PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE MAGNESIO

3.4.1 Aspectos metodológicos²²

En la industria del magnesio, el SF₆ se usa como gas de cobertura en las fundiciones para evitar la oxidación del magnesio fundido. Se supone que todo el SF₆ usado como gas de cobertura se emite a la atmósfera. Es una *buena práctica* en la preparación de inventarios, al estimar las emisiones de SF₆ procedentes de su uso en la industria del magnesio, considerar, si es posible desagregados, todos los sectores de la industria que emplean SF₆. Entre esos sectores figuran la producción primaria de magnesio, el matizado, el moldeo por gravedad y la reelaboración (producción secundaria). Es una *buena práctica* evaluar otros procesos de producción de magnesio en los que se usa y se emite SF₆.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La elección de un método de *buena práctica* dependerá de las circunstancias nacionales. En el árbol de decisiones (véase la figura 3.6, “Árbol de decisiones para las emisiones de SF₆ procedentes de la producción de magnesio”) se describe la *buena práctica* para adaptar los métodos indicados en las *Directrices del IPCC* (Vol. 3, sección 2.13.8, “SF₆ usado en las fundiciones de aluminio y magnesio”) a esas circunstancias específicas de cada país. En las *Directrices del IPCC* se describe una ecuación general para calcular las emisiones de SF₆ procedentes del magnesio, que es la base para todos los métodos descritos:

ECUACIÓN 3.12

Emisiones de SF₆ = Consumo de SF₆ en las fundiciones de magnesio

La aplicación más exacta de esta ecuación requiere la recopilación de datos directos sobre el consumo de SF₆ por todos los usuarios individuales del gas en la industria del magnesio, porque esas cifras reflejan el consumo aparente, más que las emisiones. El consumo se define como el uso de SF₆ como gas de cobertura. A falta de datos directos, es una *buena práctica* obtener estimaciones mediante un método de arriba a abajo usando datos de producción y factores de emisión pertinentes para los diversos procesos de fabricación. En los casos en que están incompletos los datos sobre el uso directo, es una *buena práctica* emplear un método híbrido en el que se usen datos directos cuando se consiguen y factores de emisión basados en la producción para completar la estimación. Es preferible un enfoque híbrido a confiar exclusivamente en el enfoque de arriba a abajo.

Si no se cuenta con datos directos, un método alternativo pero menos exacto es estimar la cuota de consumo nacional anual de SF₆ atribuible a la industria del magnesio. Esto requiere recopilar datos anuales sobre las ventas nacionales de SF₆ y supone que todo el gas SF₆ vendido a la industria del magnesio se emite dentro del año.

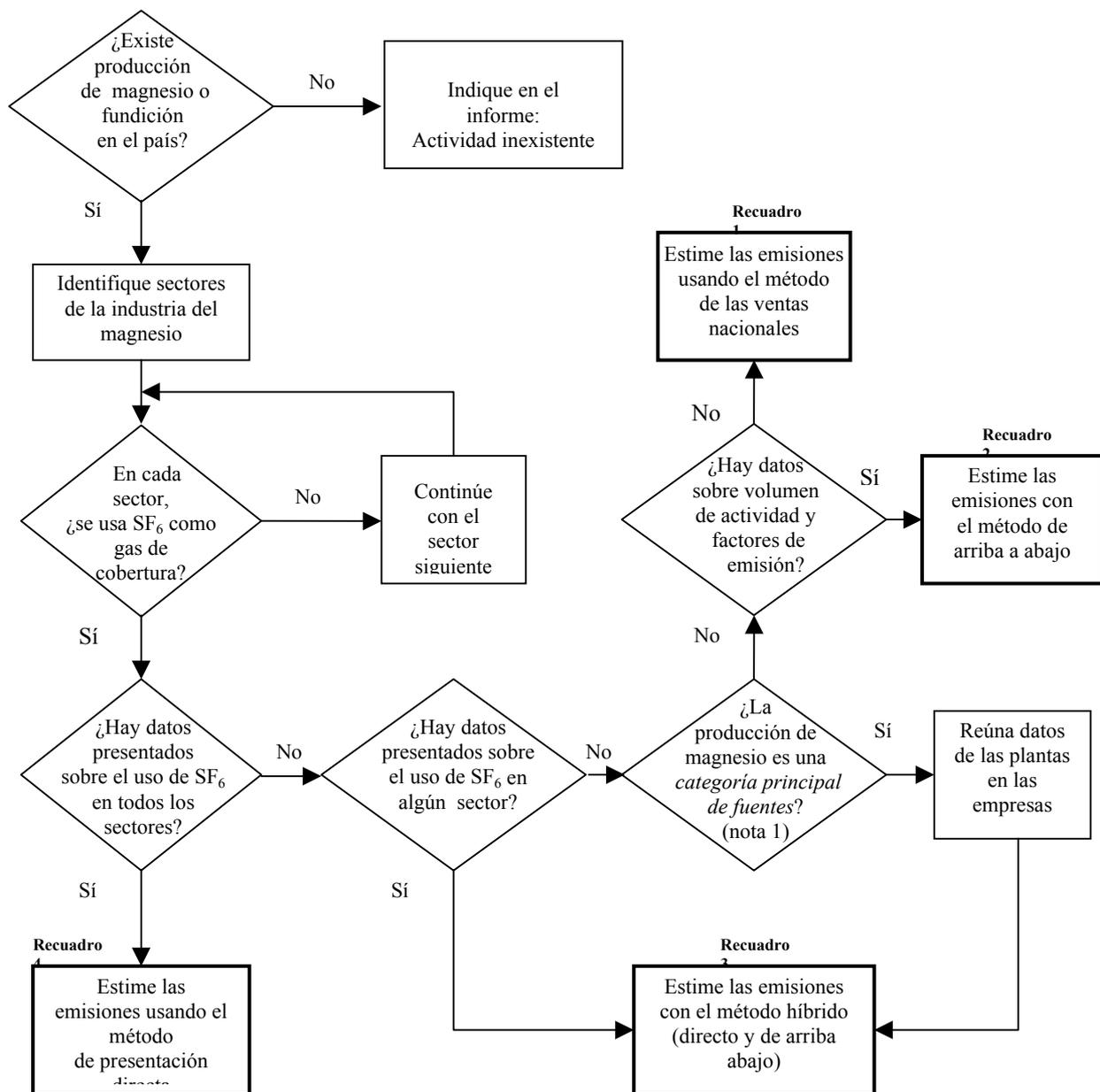
ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Como el método de presentación directa supone que todo el consumo de SF₆ se emite, no es necesario usar factores o coeficientes de emisión cuando se dispone de datos de consumo de SF₆. Cuando no existen datos presentados completos, es una *buena práctica* obtener factores de emisión para cada sector de la industria que sean coherentes con el árbol de decisiones de la figura 3.6, “Árbol de decisiones para las emisiones de SF₆ procedentes de la producción de magnesio”. Esos factores de emisión deberían vincular las emisiones de SF₆ con la producción de magnesio en la misma medida desagregada que los datos de actividad disponibles (p.ej., nacionales, subnacionales). Los factores de emisión nacionales basados en mediciones en plantas son preferibles a los factores por defecto internacionales, porque reflejan las condiciones específicas de cada país. Se puede tener acceso a esa información a través de las asociaciones de la industria, encuestas o estudios.

²² El SF₆ se usa a veces en la industria del aluminio como gas de cobertura o con otros fines, y se supone que es inerte. Por lo tanto, se supone que las emisiones de SF₆ son iguales al consumo y pueden estimarse usando un enfoque basado en el consumo, similar al método basado en el consumo para la producción de magnesio. Los factores de emisión y el método de las ventas nacionales, como se ha expuesto para la producción de magnesio, no son aplicables al SF₆ usado en la producción de aluminio.

En las *Directrices del IPCC* no se presentan factores de emisión por defecto para el SF₆ procedente del magnesio. En las condiciones recomendadas para el matizado, los índices de consumo son de 1 kg de SF₆ por tonelada métrica de magnesio producido o fundido (Gjestland, 1996). Es una *buen práctica* usar este valor si se carece de mejor información. Pero este valor por defecto es muy inseguro. Por ejemplo, un estudio de la industria del matizado mostró un amplio rango de índices de consumo de SF₆, de 0,1 a 10 kg de SF₆ por tonelada métrica de magnesio producida (Palmer, 1999).

Figura 3.6 **Árbol de decisiones para las emisiones de SF₆ procedentes de la producción de magnesio**



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema de inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país, en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las categorías principales de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.)

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Con el método de presentación directa, los datos de actividad son los totales del consumo de SF₆ en cada planta. Se necesitan datos de la producción de magnesio para las plantas que no presentan datos de consumo de SF₆. Cuando existe alguna presentación directa del uso de SF₆, es una *buena práctica* evaluar la cuota de la producción total de magnesio en el sector que representan las plantas que hacen la presentación directa de datos sobre el SF₆. Para las otras plantas, es una *buena práctica* usar estimaciones de las emisiones basadas en la producción.

En la máxima medida posible, es una *buena práctica* desagregar los datos de producción por sectores (p.ej., producción primaria, matizado, moldeo por gravedad) que usan SF₆ dentro de la industria del magnesio para utilizar plenamente los factores de emisión específicos del sector. Cuando no se cuenta con datos desagregados, pueden usarse datos de producción más agregados, quizás combinando los resultados de varios procesos diferentes, para proporcionar una estimación. A falta de datos del consumo de SF₆ o de la producción de magnesio, la alternativa es recopilar los datos nacionales anuales sobre las ventas de SF₆ a la industria del magnesio. Estos datos podrían ser tomados directamente de los productores de SF₆ o de las estadísticas nacionales. Es una *buena práctica* tener en cuenta los datos sobre consumo de otras industrias que usan SF₆ (p.ej., los equipos eléctricos) al estimar la cuota consumida por la industria del magnesio.

EXHAUSTIVIDAD

La presentación directa incompleta de los datos de actividad no debería ser un problema importante para la producción primaria. Existe una cantidad reducida de productores primarios de magnesio, que generalmente son muy conocidos y mantienen buenos registros. Las cuestiones de exhaustividad surgen generalmente en los sectores del moldeo, donde las instalaciones están más distribuidas y tienen una amplia gama de capacidades y tecnologías. Algunas plantas pueden proveer a nichos de mercado no captados por los conjuntos de datos nacionales. El organismo encargado del inventario debería confirmar la falta de estimaciones sobre esos sectores más pequeños de la industria, en vez de suponer simplemente que no existen. También es una *buena práctica* realizar estudios periódicos de la industria y establecer vínculos estrechos con las asociaciones locales de la industria para examinar la exhaustividad de las estimaciones.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Puede haber dificultades en cuanto a la disponibilidad de datos asociados con la determinación de las emisiones históricas, en particular al aplicar un enfoque de presentación directa. Es una *buena práctica* usar datos históricos sobre el SF₆ cuando se consigan, pero quizás los fabricantes de magnesio no conserven registros de la compra de SF₆ en años anteriores.

A falta de esos datos, puede usarse un enfoque por defecto de multiplicar los datos de actividad por un factor de emisión supuesto. En algunos casos, los factores de emisión pueden disminuir con el tiempo, debido a la formación de una conciencia ambiental, a factores económicos y a mejores tecnologías y prácticas. Una *buena práctica* es evaluar los factores de emisión históricos apropiados siguiendo las orientaciones de la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”. En algunos casos, quizás no haya datos históricos de producción disponibles, debido a la falta de registros iniciales o a cambios en la estructura de la industria en el período de intervención. En este caso, pueden usarse los datos de producción internacional o, si tampoco se encuentran éstos, una relación general entre la actividad económica nacional y la producción de magnesio. Para asegurar la coherencia a través del tiempo, es una *buena práctica* volver a calcular las estimaciones de las emisiones usando los métodos empleados antes y otros nuevos, para asegurarse de que las tendencias que se adviertan en las emisiones son reales y no provocadas por cambios en las metodologías de estimación. Es una *buena práctica* documentar los supuestos en todos los casos y archivarlos en el organismo encargado del inventario.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

La incertidumbre con respecto a los datos de las plantas sobre el uso del SF₆ es muy poca, ya que el uso del SF₆ se mide con facilidad y exactitud a partir de los datos de compra. (Suele ser apropiada una estimación de la incertidumbre inferior al 5% para los datos presentados directamente.) Existe cierta incertidumbre asociada al supuesto de que el 100% del SF₆ usado se emite. Evidencias anecdóticas sugieren que, en determinadas condiciones extremas, una parte reducida del SF₆ aplicado puede reaccionar o descomponerse en el proceso. Pero a los fines del inventario, hasta que nuevas investigaciones revisadas por especialistas en la materia clarifiquen este efecto, el supuesto es que todo el SF₆ usado como gas de cobertura se emite. Las incertidumbres son mucho más elevadas cuando no se cuenta con datos de las plantas y las emisiones podrían ser muy superiores o inferiores a lo que indica el empleo de los valores por defecto del IPCC, como ya se ha señalado.

En los inventarios nacionales, la exactitud de los datos de actividad sobre la producción de magnesio es comparable a la de otras estadísticas nacionales de producción (o sea, $\pm 5\%$). Se introduce más incertidumbre al estimar la cuota de producción sobre la que no se presentan datos directos. Agregar la producción de diferentes sectores y usar factores de emisión agregados también introduce incertidumbre. Por ejemplo, los datos nacionales de las operaciones de moldeo quizás no puedan desglosarse en sectores de matrizado y de moldeo por gravedad, a pesar de que tienen tasas de emisión de SF₆ potencialmente diferentes. Es muy inseguro estimar las emisiones de SF₆ a base de las ventas a la industria del magnesio cada año, porque el SF₆ puede adquirirse a granel y no usarse por varios años. En este caso, la incertidumbre estará ligada a los datos sobre ventas totales.

3.4.2 Presentación de datos y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir estimaciones para el inventario nacional de emisiones, como se expone en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. No es práctico incluir toda la documentación en el informe del inventario nacional. Sin embargo, el inventario debería incluir resúmenes de los métodos usados y referencias a los datos fuentes, de modo que las estimaciones de las emisiones sean transparentes y puedan rastrearse las etapas seguidas para calcularlas.

Para aumentar la transparencia, es una *buena práctica* presentar las estimaciones de las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes en forma separada por sectores industriales.

La siguiente información adicional puede ofrecer un grado razonable de transparencia en la presentación:

Presentación directa

- Cantidad de plantas que presentan datos;
- Producción de magnesio y de productos de magnesio;
- Emisiones de SF₆;
- Datos de los factores de emisión (y referencia).

Estimación de las emisiones potenciales basada en las ventas nacionales de SF₆

- Consumo nacional de SF₆ (y referencia);
- Supuestos para asignar el SF₆ usado al magnesio;
- Estimación del porcentaje de SF₆ nacional usado en el magnesio (y referencia);
- Todo otro supuesto que se haga.

En la mayoría de los países, la industria del magnesio estará representada por una cantidad reducida de plantas. En esta industria, los datos sobre volumen de actividad y emisiones de SF₆ (que están directamente relacionadas con los volúmenes de actividad) pueden ser considerados información confidencial de negocios y su publicación puede estar sujeta a consideraciones de confidencialidad.

3.4.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buena práctica* realizar exámenes de control de calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad, como se expone en la sección 8.7, “Procedimientos específicos de CC para cada categoría de fuentes (nivel 2)”, del capítulo 8 y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta *categoría de fuentes*. Se alienta a los organismos encargados del inventario a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* que se identifican en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Se exponen a continuación otros procedimientos específicos para la producción de magnesio.

Comparación de las estimaciones de emisiones usando diferentes enfoques

Si las emisiones se calculan usando datos de plantas individuales (enfoque de abajo a arriba), los organismos encargados de los inventarios deberían comparar las estimaciones con las emisiones calculadas usando datos de la producción nacional de magnesio o del consumo nacional de SF₆ (enfoque de arriba a abajo). Los resultados de la comparación deberían registrarse y debería investigarse toda discrepancia.

Revisión de los datos de las plantas

Para facilitar una revisión independiente, debería archivarse la siguiente información específica sobre las plantas:

- Consumo de SF₆ o producción de magnesio (cuando se usan factores);
- Resultados de la GC/CC en las plantas (incluso documentación de las muestras, del método de medición y de los resultados de la medición de los datos en las plantas);
- Resultados de la GC/CC realizados por cualquier órgano integrante (p.ej., una asociación de la industria);
- Método de cálculo y estimación;
- Cuando corresponda, una lista de supuestos al asignar el uso o la producción nacionales de SF₆ en las plantas.

Los organismos encargados de los inventarios deberían determinar si se usaron normas de medición nacionales o internacionales para recoger los datos de consumo o de producción de magnesio en cada planta. Si no se aplicaron métodos normalizados y GC/CC, debería reconsiderarse la utilización de esos datos de actividad.

Revisión de los datos de actividad nacionales

Deberían evaluarse las actividades de GC/CC asociadas con la referencia a los datos de producción de magnesio e indicar sus referencias. Los organismos encargados de los inventarios deberían examinar si la asociación industrial o el organismo que compilaron los datos de producción nacional han utilizado procedimientos aceptables de GC/CC. Si se estima que los procedimientos de GC/CC son aceptables, los organismos encargados de los inventarios deberían hacer referencia a la actividad de CC como parte de la documentación de GC/CC.

Evaluación de los factores de emisión

Cuando se usan factores de SF₆ específicos del país, los organismos encargados de los inventarios deberían revisar el grado de CC asociado con los datos fundamentales. Aunque no existe ningún factor de emisión por defecto del IPCC, es una *buena práctica* que el organismo encargado del inventario verifique los factores por defecto a escala nacional cotejándolos con los factores para las plantas, con el fin de determinar su representatividad.

Revisión por especialistas en la materia

Los organismos encargados de los inventarios deberían hacer participar a expertos en la industria del magnesio en una revisión a fondo de la estimación del inventario, prestando atención a posibles cuestiones de confidencialidad. Los datos históricos de producción pueden ser menos sensibles a la divulgación pública que los datos actuales y podrían utilizarse para una revisión de las emisiones de las plantas por especialistas en la materia externos.

Verificación de los datos sobre emisiones de SF₆

Los organismos encargados de los inventarios deberían sumar la cantidad de SF₆ utilizado por los diferentes sectores industriales (p.ej., magnesio, equipos eléctricos) y comparar ese valor con el uso total de SF₆ en el país, obtenido de los datos de importación/exportación y producción. Eso fija un límite superior a las posibles emisiones²³.

²³ Quizás no siempre ocurra que esos datos agregados de consumo fijen un límite superior a las emisiones. Es posible, según las características nacionales de la industria que consume SF₆, que dentro de algunos años las emisiones reales de SF₆ sean superiores al consumo de SF₆. Por ejemplo, el consumo de magnesio en el matizado puede ser muy bajo, puede no haber mucha fabricación de semiconductores, pero en el curso de los años puede haberse desarrollado un banco considerable de SF₆ en equipos eléctricos. En tal caso, las fugas en el banco combinadas con las emisiones resultantes del retiro de equipos, pueden hacer que las emisiones reales sean superiores al consumo de SF₆ (emisiones potenciales). Véase también el cuadro 3.12, “Factores de emisión por defecto para las emisiones de SF₆ procedentes de equipos eléctricos – nivel 2 (fracción de SF₆/año)”.

3.5 EMISIONES DE SF₆ PROCEDENTES DE EQUIPOS ELÉCTRICOS Y OTRAS FUENTES

3.5.1 Equipos eléctricos

3.5.1.1 Aspectos metodológicos

El hexafluoruro de azufre (SF₆) se usa para la aislación eléctrica, el amortiguamiento de arco y la interrupción de corriente en equipos usados en la transmisión y distribución de electricidad. La mayor parte del SF₆ usado en equipos eléctricos se emplea en dispositivos de distribución aislados con gas (GIS) y disyuntores, aunque algo de SF₆ se usa en líneas de transmisión de alta tensión aisladas con gas y otros equipos. Las emisiones de SF₆ procedentes de equipos eléctricos son la categoría de fuentes de emisiones de SF₆ más grande del mundo.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La elección de un método de *buena práctica* dependerá de las circunstancias nacionales. En el árbol de decisiones de la figura 3.7, “Árbol de decisiones para el SF₆ procedente de equipos eléctricos”, se describe la *buena práctica* al adaptar los métodos que figuran en las *Directrices del IPCC* a esas circunstancias específicas de cada país.

Las *Directrices del IPCC* contienen métodos para estimar tanto las emisiones potenciales (método de nivel 1) como las reales (método de nivel 2) de SF₆ procedentes de equipos eléctricos. En esta sección se describe la *buena práctica* para usar el método de nivel 1 y dos variantes del método actual de nivel 2. También se describen tres variantes de un enfoque más exacto (denominado método de nivel 3). Las estimaciones de las emisiones formuladas usando el método de nivel 3 serán las más exactas. Las estimaciones preparadas usando el método de nivel 1 serán las menos exactas, porque esas cifras reflejan el consumo aparente más que las emisiones.

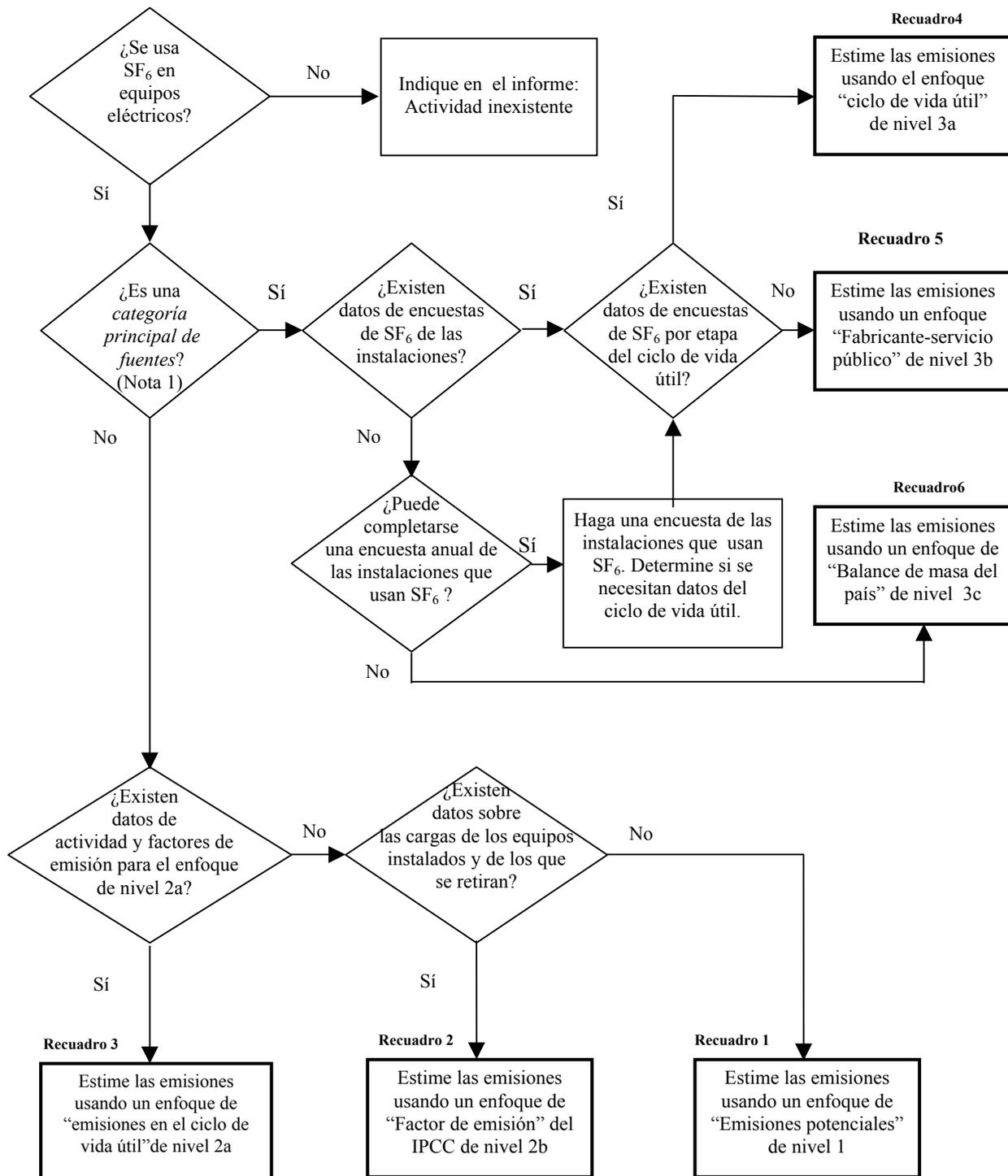
Método de nivel 3 – Enfoque del balance de masa

El método de nivel 3 es el enfoque más exacto para estimar las emisiones reales de SF₆ procedentes de equipos eléctricos. Es un enfoque de balance de masa que rastrea la cantidad de nuevo SF₆ introducido en la industria cada año. En la industria se emplea parte de este SF₆ recién comprado para sustituir el gas que se ha evacuado por fugas a la atmósfera el año anterior. El resto del nuevo SF₆ se usa para llenar un aumento en la capacidad total del equipo y no sustituye gas perdido. Para formular una estimación exacta, por lo tanto, este enfoque distingue entre el SF₆ usado para sustituir gas emitido y el SF₆ usado para aumentar la capacidad total del equipo o sustituir gas destruido²⁴.

Las principales ventajas de este enfoque son: i) los fabricantes de equipo y las instalaciones pueden rastrear fácilmente la información necesaria, y ii) no depende de factores de emisión mundiales por defecto que están sujetos a considerable incertidumbre. Este nivel puede aplicarse con diferentes grados de agregación, según la disponibilidad de datos y de recursos. El enfoque más exacto consiste en estimar las emisiones de cada etapa del ciclo de vida útil del equipo en las instalaciones (método de nivel 3a). Otra posibilidad es soslayar el cálculo del ciclo de vida útil y estimar las emisiones en las instalaciones agregadas (método de nivel 3b) o para el país (método de nivel 3c). Se alienta a los organismos encargados del inventario a usar el enfoque más detallado que sea práctico y emplear otros métodos alternativos de estimación para examinar los resultados.

²⁴ Por ejemplo, supongamos que se retiran 100 disyuntores en un país un año determinado y se instalan 150 nuevos disyuntores (del mismo volumen de carga medio que los retirados). En este caso, los fabricantes o usuarios de los disyuntores en ese país deben adquirir por lo menos gas suficiente para cargar 50 disyuntores, aunque recuperen todo el gas de los 100 disyuntores y lo usen para llenar 100 de los disyuntores que los sustituyen. El gas usado para cargar los 50 disyuntores “extra” se usa para llenar un aumento en la capacidad del equipo y no sustituye el gas emitido. Parte del gas que se contamina durante la inspección es destruido usando métodos térmicos de destrucción.

Figura 3.7 Árbol de decisiones para el SF₆ procedente de equipos eléctricos



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema de inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país, en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las categorías principales de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.)

Método de nivel 3a – Emisiones por etapa del ciclo de vida útil del equipo

Este enfoque es útil para los organismos encargados del inventario o las instalaciones que, además de estimar sus emisiones totales de SF₆ procedente de equipos eléctricos, deseen determinar cómo y cuándo se producen tales emisiones durante el ciclo de vida útil del equipo. La información acerca de cómo y cuándo se producen las emisiones es importante para concentrar los esfuerzos de mitigación donde sean más efectivos. El método contiene ecuaciones separadas para cada etapa del ciclo de vida útil del equipo: fabricación, instalación, uso y eliminación del equipo. Idealmente, se obtienen datos para cada fabricante de equipo y cada servicio público del país, y se suman las emisiones de todos los fabricantes y servicios públicos para elaborar la estimación nacional. La ecuación básica es:

ECUACIÓN 3.13

$$\text{Emisiones totales} = \Sigma \text{Emisiones de fabricación} + \Sigma \text{Emisiones de instalación} \\ + \Sigma \text{Emisiones de uso} + \Sigma \text{Emisiones de eliminación}$$

En la ecuación precedente, las emisiones nacionales en cada etapa son iguales a la suma de las emisiones de todos los fabricantes de equipo para cada etapa.

Las emisiones de cada *fabricante de equipo* pueden calcularse en tres etapas:

- i) Recopilar los datos disponibles sobre la reducción neta en su inventario anual de SF₆. (Adviértase que si el inventario aumenta, será una cifra negativa);
- ii) Añadir la cantidad de SF₆ obtenida durante el año (incluso todo SF₆ comprado a productores o distribuidores, todo SF₆ devuelto por usuarios de equipos y todo SF₆ devuelto por usuarios después del reciclaje);
- iii) Sustraer la cantidad de SF₆ transferido a otros durante el año (incluso la cantidad de SF₆ en nuevos equipos entregados a los clientes, la cantidad entregada a los usuarios de equipos en recipientes y la cantidad devuelta a los productores de SF₆, enviada a las firmas de reciclaje o destruida).

Las emisiones procedentes de la *instalación del equipo* pueden estimarse restando de la cantidad real de SF₆ usada para llenar los nuevos equipos la capacidad de placa-marca²⁵ de todos los nuevos equipos llenados.

Las emisiones procedentes del *uso del equipo* están determinadas por la cantidad de SF₆ utilizado para el mantenimiento del equipo. Si se recupera el SF₆ del equipo antes del mantenimiento y se devuelve después del mantenimiento, es importante que esa cantidad no se incluya en la estimación.

Las emisiones procedentes de la *eliminación de equipo* se estiman restando de la capacidad de placa-marca del equipo retirado la cantidad de SF₆ recuperado del equipo retirado y restando también la cantidad de SF₆ destruido.

Método de nivel 3b – Método del balance de masa en los fabricantes y los servicios públicos

Si no se cuenta con datos para estimar las emisiones de las etapas del ciclo de vida útil, las emisiones pueden estimarse rastreando el consumo y la eliminación general de SF₆ de todos los servicios públicos y fabricantes. A partir de la ecuación para el método de nivel 3a, se agregan las emisiones procedentes de la instalación, el uso y la eliminación en la categoría de *emisiones de los servicios públicos*. La ecuación presentada en el método de nivel 3a se simplifica así:

ECUACIÓN 3.14

$$\text{Emisiones totales} = \Sigma \text{Emisiones del fabricante} + \Sigma \text{Emisiones de los servicios públicos}$$

Usando este enfoque, se estiman las emisiones del *fabricante del equipo* igual que en el método de nivel 3^a.

²⁵ Capacidad de placa-marca – La “capacidad de placa-marca” es la cantidad de SF₆ necesaria para llenar una pieza de equipo de modo que funcione correctamente. También puede denominarse “carga” y generalmente está indicada en la placa-marca del equipo. La “capacidad de placa-marca total” de todos los equipos de un país o instalación es la suma de las cargas correctas y completas de todos los equipos en uso en ese país o instalación.

Las emisiones de los servicios públicos equivalen a la suma de las emisiones de todos los servicios públicos. Las emisiones de cada servicio público pueden calcularse mediante las siete etapas siguientes:

- i) Determinar la reducción neta en la cantidad de SF₆ almacenado en recipientes durante el año de presentación de los datos;
- ii) Añadir la cantidad de SF₆ comprado a productores/distribuidores y fabricantes de equipos, incluso la cantidad de SF₆ contenida en los equipos comprados;
- iii) Sustraer la cantidad de SF₆ devuelto a los proveedores;
- iv) Añadir el SF₆ devuelto después del reciclaje;
- v) Sustraer todo SF₆ enviado a las firmas de reciclaje, vendido a otras entidades o destruido por el servicio público o la instalación;
- vi) Añadir la capacidad de placa-marca de los equipos retirados;
- vii) Sustraer la capacidad de placa-marca de los nuevos equipos.

Método de nivel 3c – Método del balance de masa en el país

En algunos casos, quizás no sea muy factible para los organismos encargados del inventario obtener datos sobre las emisiones de todos los fabricantes de equipos y servicios públicos, o esos datos pueden estar incompletos. En ese caso, puede elaborarse una estimación para todo el país a base de las ventas nacionales anuales de SF₆ en el sector eléctrico (actuales e históricas), las importaciones y exportaciones de equipos, la destrucción de SF₆ y, de ser posible, los supuestos sobre la vida útil de los equipos específicos del país. La ecuación básica es:

<p>ECUACIÓN 3.15</p> $\text{Emisiones} = \text{Ventas anuales} - (\text{Aumento neto en la capacidad de placa-marca}) - (\text{SF}_6 \text{ destruido})$

Las *ventas anuales* equivalen al nuevo SF₆ para llenar o recargar equipos eléctricos, tanto a granel como en los equipos mismos.

El *aumento neto en la capacidad de placa-marca* puede calcularse mediante las siguientes etapas:

- i) Recopilar datos sobre la capacidad de placa-marca de los nuevos equipos, comprendidos tanto los equipos llenados en fábrica antes del envío como los equipos llenados después de su instalación;
- ii) Sustraer la capacidad de placa-marca de todo los equipos que se retiren.

Es una *buena práctica* consignar la cantidad de SF₆ destruido de todos los equipos eléctricos en *SF₆ destruido*.

Método de nivel 2a – Enfoque de los factores de emisión en el ciclo de vida útil

Si sólo se dispone de datos limitados sobre las ventas anuales de SF₆ a los fabricantes de equipos y a los servicios públicos, pueden estimarse las emisiones para cada etapa del ciclo de vida útil del equipo usando factores de emisión exclusivos para cada etapa. Es una *buena práctica* usar la siguiente ecuación:

<p>ECUACIÓN 3.16</p> $\text{Emisiones totales} = \text{Emisiones de fabricación} + \text{Emisiones de instalación} + \text{Emisiones de uso} + \text{Emisiones de eliminación}$
--

Las emisiones procedentes de la *fabricación* se estiman usando factores de emisión basados en la cantidad de SF₆ comprado por los fabricantes de equipos o en la capacidad de placa-marca de los nuevos equipos cargados.

De igual modo, las emisiones procedentes de la *instalación de equipos* se estiman usando factores de emisión basados en la compra o en la placa-marca. Esto requerirá datos sobre la cantidad de SF₆ adquirida por los servicios públicos para nuevos equipos o la capacidad de placa-marca de los nuevos equipos cargados por esos servicios públicos (no por los fabricantes de equipos). En algunos casos, puede conocerse la capacidad de placa-marca de los nuevos equipos, pero no las fracciones de esa capacidad llenadas, respectivamente, por los

fabricantes y por los servicios públicos. En tales circunstancias, puede multiplicarse un solo “factor de emisión de fabricación/instalación” por la capacidad de placa-marca total de los nuevos equipos.

Las emisiones procedentes del *uso de equipos* se estiman multiplicando la capacidad de placa-marca total de los equipos instalados por un “factor de emisión de uso”. El “factor de emisión de uso” comprende las emisiones debidas a las fugas y al servicio y mantenimiento técnico, que se llevan a cabo típicamente cada 12 años.

Por último, las emisiones procedentes de la *eliminación de equipos* se estiman multiplicando la capacidad de placa-marca del equipo que se retira por la fracción del SF₆ que se supone queda en el equipo al final de su vida útil. Si se va a recuperar el SF₆, es una *buena práctica* ajustar la estimación resultante para reflejar la recuperación, multiplicando por (1 – el factor de recuperación). El factor de recuperación por defecto es cero. Otros factores deberían ser específicos de cada país y determinados en cada sitio.

Método de nivel 2b – Factores de emisión por defecto del IPCC

Si los organismos encargados del inventario sólo tienen información sobre las cargas totales de los equipos instalados y retirados, los factores de emisión pueden aplicarse a escala nacional, como se describe en las *Directrices del IPCC*:

ECUACIÓN 3.17

$$\text{Emisiones de SF}_6 \text{ en el año } t = (2\% \text{ de la carga total de SF}_6 \text{ contenida en las existencias de equipos de operación en el año } t) + (95\% \text{ de la capacidad de placa-marca de SF}_6 \text{ en los equipos retirados)}$$

El primer término de la ecuación estima las pérdidas por fugas y mantenimiento como porcentaje fijo de la carga total (p.ej., 2%). Las existencias de equipos en cada año comprenden todos los equipos instalados ese año además de los equipos ya instalados anteriormente que aún están en uso. El segundo término calcula las emisiones del equipo retirado (p.ej., después de una vida útil de 30 años) y se supone que la carga mínima es del 90%. La experiencia reciente indica que el supuesto por defecto del 70% que figura en las *Directrices del IPCC* subestima las emisiones que se retiran, porque el equipo no funciona por debajo del 90% de su capacidad y será llenado nuevamente durante su vida útil (Bitsch, 1999b). De modo que se alienta a los organismos encargados del inventario que usen este enfoque a revisar la aplicabilidad de los factores de emisión en la ecuación y a usar factores de emisión específicos del país si corresponde, especialmente con respecto a los procedimientos de reciclaje aplicados.

Método de nivel 1 – Enfoque potencial

En el método más simple de estimación que figura en las *Directrices del IPCC* se estiman las emisiones potenciales de SF₆ procedentes de todos los usos equiparando las emisiones con el consumo total de SF₆:

ECUACIÓN 3.18

$$\text{Emisión potencial de SF}_6 = \text{Producción} + (\text{Importación} - \text{Exportación}) - \text{Destrucción}$$

Los organismos encargados del inventario tendrán que determinar qué cantidad del total de SF₆ se vende a los servicios públicos y a los fabricantes de equipos. Esto puede hacerse directamente (obteniendo datos sobre tales ventas) o indirectamente (obteniendo datos sobre las ventas para otros usos). En el enfoque directo se usa la siguiente ecuación:

ECUACIÓN 3.19

$$\text{Emisiones de SF}_6 \text{ procedentes de equipos eléctricos} = \text{Ventas de SF}_6 \text{ a fabricantes de equipos} + \text{Ventas de SF}_6 \text{ a servicios públicos} + (\text{SF}_6 \text{ en equipos importados} - \text{SF}_6 \text{ en equipos exportados})$$

El enfoque indirecto es el siguiente:

ECUACIÓN 3.20

$$\text{Emisiones de SF}_6 = \text{Producción} + (\text{Importación} - \text{Exportación}) - \text{Destrucción} - \text{Consumo por otros usos de SF}_6 \text{ (o sea, fundición de Mg, fabricación de semiconductores, otros usos)}$$

Ambas ecuaciones suponen implícitamente que todo el SF₆ vendido en el sector eléctrico sustituye gas emitido, cuando en realidad parte de ese SF₆ puede usarse para llenar un aumento neto en la capacidad de placa-marca de equipos instalados o para sustituir gas destruido. Es una *buena práctica* considerar que las estimaciones preparadas usando el método de nivel 1 son un límite superior.

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Con respecto a la variabilidad de las tasas de emisión de una región a otra, se alienta a los organismos encargados de los inventarios que usen el método de nivel 2 a formular y emplear sus propios factores de emisión. Un modo efectivo de elaborar esos factores consiste en estudiar una muestra representativa de los fabricantes de equipos y servicios públicos dentro del país.

Método de nivel 2a

Los factores de emisión para el método de nivel 2a se formulan a partir de datos recopilados en fabricantes y servicios públicos representativos que rastrean las emisiones por etapas del ciclo de vida útil, usando esencialmente el método de nivel 3a en sus instalaciones durante un año. Se suman todas las emisiones extraídas de la encuesta de fabricantes y luego se dividen por la capacidad de nuevos equipos de las instalaciones encuestadas. Este factor de emisión puede aplicarse entonces al sector de la fabricación en su conjunto, usando la capacidad nacional de nuevos equipos.

Método de nivel 2b

Para formular los factores de emisión para el método de nivel 2b, es una *buena práctica* que los servicios públicos encuestados rastreen el consumo total de SF₆ en la recarga de sus equipos, la capacidad de placa-marca total de sus equipos, la cantidad de SF₆ recuperada de los equipos retirados y la capacidad de placa-marca de sus equipos retirados. Es una *buena práctica* sumar las emisiones procedentes del servicio técnico y la eliminación de equipos en todas los servicios públicos encuestados. Las estimaciones totales resultantes de las emisiones procedentes del servicio técnico y la eliminación se dividen entonces por la capacidad total instalada de los equipos de los servicios públicos encuestados o por la capacidad total de sus equipos retirados, respectivamente, para calcular los factores de emisión para su uso y para su eliminación.

En las *Directrices del IPCC* no se suministran los factores de emisión por defecto para cada etapa del ciclo de vida útil, pero se han preparado factores sugeridos para algunas regiones a partir de investigaciones recientes. Esos factores se muestran en el cuadro 3.12, "Factores de emisión por defecto para las emisiones de SF₆ procedentes de equipos eléctricos – nivel 2 (fracción de SF₆/año)".

CUADRO 3.12									
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LAS EMISIONES DE SF₆ PROCEDENTES DE EQUIPOS ELÉCTRICOS – NIVEL 2									
(FRACCIÓN DE SF₆/AÑO)									
Fase	Fabricación		Instalación		Uso		Equipo retirado		
Región	Antes de 1996	Desde 1996	Antes de 1996	Desde 1996	Antes de 1996	Desde 1996	Vida útil	Restante	Recuperación
Europa ^b	0,15	0,06	ND	0,06	ND	ND	ND	ND	ND
Japón ^a	0,3	0,3	ND	ND	0,001	0,001	ND	ND	ND
Mundial ^c	ND	ND	0,15	0,15	0,05	0,02	30 años	0,95	ND

^a Los factores de emisión en la fase de uso sólo son para emisiones naturales (Denki Kyodo Kenkyu, 1998 y Chemical Products Council, 1999). Fuentes:
^b Bitsch, 1999a.
^c Olivier y Bakker, 2000.
 ND = no disponible.

ELECCIÓN DE DATOS DE ACTIVIDAD

La orientación que se ofrece a continuación para los métodos de nivel 3 se aplica a los mismos parámetros cuando se usan con los métodos de nivel 2 y nivel 1. El único requisito exclusivo del método de nivel 2 es la *capacidad de placa-marca total* del equipo. La capacidad de placa-marca puede estimarse estudiando los servicios públicos directamente o interrogando a los fabricantes de equipos acerca de sus ventas de equipos durante la vida útil del equipo (p.ej., los últimos 30 años).

Método de nivel 3a – Emisiones por etapa del ciclo de vida útil

Como el método de nivel 3a no se basa en factores de emisión, la calidad de la estimación depende de la exactitud y exhaustividad de los datos de actividad encuestados. Los datos deberían obtenerse directamente de los fabricantes individuales o a través de las asociaciones de fabricantes.

Fabricación de equipos: Una encuesta completa de todos los fabricantes de equipos incluye, como mínimo, datos sobre el movimiento de SF₆ a través de las etapas de producción y montaje y sobre la manipulación de las emisiones del gas después de la entrega a los sitios de fabricación. La encuesta debería requerir la información suficiente para permitir una contabilidad completa del consumo y las pérdidas de SF₆ durante la fase de producción. Pueden usarse los cuadros del *balance de masa* anual para estimar cuánto gas SF₆ se pierde por las descargas de emisiones y qué fracción representa esto del contenido nominal de SF₆ en el total de equipos eléctricos producidos.

Si no se cuenta con datos de encuesta sobre todos los fabricantes, pueden considerarse otros métodos alternativos (p.ej., basados en la extrapolación de la capacidad de producción). Es una *buena práctica* usar datos de encuesta en la medida de lo posible y sólo complementarlos con enfoques de extrapolación cuando no existen datos de encuesta disponibles. Véanse orientaciones sobre la extrapolación cuando no existen datos en la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Instalación de equipos: Todos los servicios públicos y otros usuarios de equipos eléctricos deberían rastrear y registrar la capacidad de placa-marca del equipo que se llena. Esos servicios públicos deberían rastrear también la cantidad de SF₆ que se usa para llenar los equipos pesando los cilindros antes y después de las operaciones de carga y rastrear todo SF₆ que haya en el equipo despachado (p.ej., para mantener una leve presión positiva durante la expedición). Si es el fabricante del equipo y no el servicio público quien ejecuta la carga, el fabricante puede aportar esa información al servicio público²⁶. Cuando hay lagunas y omisiones en la encuesta, es posible usar estimaciones de las adiciones a las existencias de SF₆ y tasas de emisión por defecto para los procedimientos de instalación y montaje.

Uso de los equipos: Es una *buena práctica* calcular la cantidad de SF₆ usado para volver a llenar los equipos pesando los cilindros antes y después de las operaciones de carga.

Eliminación de equipos: La cantidad de SF₆ recuperado de los equipos puede calcularse pesando los cilindros de recuperación antes y después de las operaciones de recuperación. Los datos sobre eliminación deberían incluir todos los equipos, incluso los equipos importados.

Método de nivel 3b – Método del balance de masa en los fabricantes y los servicios públicos

Fabricantes de equipos: Igual que para el nivel 3a, más arriba.

Servicios públicos: Para recopilar la información necesaria para usar el método de nivel 3b, se requiere una encuesta de todos los servicios públicos. Es una *buena práctica* encuestar los sitios industriales, instalaciones militares y otros sitios que no sean ese tipo de servicios y que usen cantidades importantes de SF₆ en equipos eléctricos. Parte de esa información, pero no toda, puede obtenerse también de los fabricantes de equipos.

²⁶ La cantidad que ya existe en los equipos expedidos puede calcularse multiplicando el volumen interno del equipo por la densidad del SF₆ a la presión de expedición o multiplicando la capacidad de placa-marca del equipo por la relación entre la presión de expedición y la presión de placa-marca, en términos absolutos (p.ej., Pa o psi). En teoría, los equipos que llegan a la empresa completamente llenos no deben ser incluidos en este cálculo, porque la cantidad de SF₆ dentro del equipo será idéntica a la capacidad de placa-marca y las dos se anularán entre sí. Pero se alienta a las empresas a rastrear la capacidad de placa-marca total de los equipos que instalen, porque esa cantidad es útil para calcular las emisiones usando métodos de nivel 3 y de nivel 2 y para comprender las emisiones durante el uso de los equipos.

Si el servicio público no ejecuta todas sus propias operaciones de instalación, mantenimiento y eliminación de equipos, las personas que presten esos servicios deberían aportar datos al servicio público (p.ej., la cantidad de gas usado para volver a llenar los equipos, si el gas no procedía del propio inventario del servicio público). Es necesario recopilar una contabilidad completa de las emisiones de SF₆ asociadas con las pérdidas durante la manipulación y el llenado. Esta contabilidad puede basarse en cuadros del balance de masa anual que contengan la cantidad de SF₆ contenida en el equipo cuando se expidió al sitio. Es necesario identificar la parte responsable de rastrear las operaciones de manipulación y llenado de SF₆, porque esto puede variar de un sitio a otro.

Método de nivel 3c – Método del balance de masa en el país

Ventas anuales: Los fabricantes o importadores de productos químicos, o ambos, deberían poder aportar los datos más completos. Si no se dispone de información de los fabricantes de productos químicos, es una *buena práctica* comunicarse con los fabricantes de equipos y con los servicios públicos para asegurar que se usen datos completos sobre el SF₆ usado para cargar tanto equipos nuevos como los existentes.

Capacidad de placa-marca de los equipos nuevos y retirados: La capacidad de placa-marca puede estimarse usando una de las siguientes fuentes de datos: 1) información de los fabricantes/importadores de equipos sobre la capacidad de placa-marca total de los equipos que fabrican o importan y exportan, 2) información de los servicios públicos sobre la capacidad de placa-marca total de los equipos que compran e instalan cada año, o 3) información de los fabricantes/importadores de productos químicos sobre sus ventas de SF₆ a los fabricantes de equipos. La primeras dos fuentes de datos son preferibles a la tercera, porque las ventas de gas a los fabricantes de equipos nuevos diferirán en cierta medida de la capacidad de placa-marca de los nuevos equipos. Al estimar las capacidades de placa-marca de los equipos nuevos y retirados, los organismos encargados de los inventarios deberían incluir la capacidad de placa-marca de los equipos importados y excluir la capacidad de placa-marca de los equipos exportados. (Véase en la sección 3.7.4, “Subcategoría de fuentes de la refrigeración fija”, recuadro 3.4, “Contabilidad de las importaciones y exportaciones de refrigerantes y equipos”, una exposición detallada del modo de tratar las importaciones y exportaciones al estimar esas cantidades.)

En el caso de los equipos retirados, la información sobre la capacidad o las ventas debería ser histórica, a partir del año en que se construyó el equipo que se retira en el año en curso. El valor por defecto para la vida útil de los equipos eléctricos es de 30 años. Si no se cuenta con información sobre la capacidad de placa-marca total de los equipos retirados, puede estimarse a partir de la nueva capacidad de placa-marca, usando la tasa de crecimiento anual estimado de la capacidad de los equipos. Al estimar la tasa de crecimiento, es una *buena práctica* considerar tanto la cantidad de piezas de equipo vendidas cada año como la capacidad de placa-marca promedio de los equipos²⁷.

Puede usarse la siguiente ecuación para estimar la capacidad de placa-marca retirada, si esta información no está disponible directamente:

ECUACIÓN 3.21

$$\text{Capacidad de placa-marca retirada} = \text{Nueva capacidad de placa-marca} / (1 + g)^L$$

Donde:

L = vida útil del equipo

g = tasa de crecimiento

Según una encuesta de 1997, la tasa media de aumento anual en las ventas de SF₆ a los fabricantes de equipos entre 1991 y 1996 fue de 6,7%, mientras que la tasa media de aumento entre 1986 y 1996 fue de 5,3% (Science and Policy Associates, 1997). A falta de información específica por países, es una *buena práctica* usar un factor por defecto del 6%.

Cantidad destruida: La cantidad de SF₆ destruida puede estimarse usando información de los fabricantes de equipos eléctricos, los servicios públicos, los fabricantes de productos químicos o las instalaciones de destrucción. Es necesario asegurarse de que las cantidades de SF₆ presentadas como destruidas no incluyan cantidades procedentes de otras fuentes que no sean equipos eléctricos.

²⁷ Aunque por lo general la cantidad de piezas de equipo vendida cada año ha aumentado, la capacidad de placa-marca media generalmente ha disminuido.

EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad en esta categoría de fuentes requiere que se tengan en cuenta las emisiones tanto en las instalaciones del servicio público como durante la fabricación de los equipos eléctricos. Cuando se usan métodos de nivel 3, la exhaustividad requiere que sean identificados todos los usuarios de SF₆ (fabricantes y servicios públicos).

En el sector fabril, esto exige que se evalúen las emisiones de:

- Los fabricantes de GIS y disyuntores;
- Los fabricantes de líneas de transmisión de alta tensión aisladas con gas, subestaciones (miniestaciones) y transformadores;
- Los usuarios menores de SF₆, entre ellos los fabricantes de equipos de media tensión y los fabricantes de nuevas versiones de equipos;
- El SF₆ que se transporta desde los productores y distribuidores a las instalaciones de fabricación.

En el sector de los servicios públicos, esto exige tener en cuenta todas las pérdidas de SF₆ relacionadas con:

- Las nuevas instalaciones de equipos eléctricos;
- Las fugas, las recargas y el mantenimiento;
- La eliminación de los equipos eléctricos retirados de servicio.

Es una *buena práctica* identificar e incluir las aplicaciones industriales, militares y de pequeños servicios públicos, si se cree que contribuyen sustancialmente a las emisiones totales de esta categoría de fuentes.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Al estimar las emisiones en una serie temporal, es necesario considerar las emisiones de SF₆ asociadas con la fabricación y todos los equipos instalados en servicios públicos durante los años de que se trate. De modo que para elaborar una estimación histórica exacta de los equipos instalados se requiere información sobre la capacidad y el rendimiento de los equipos instalados en los 20 a 30 años previos a los años que interesan.

En el plano de la fabricación, si no se cuenta con datos históricos para elaborar las emisiones de un año base entre 1990/1995, puede aplicarse el método de arriba a abajo calibrado para obtener balances de cuenta más exactos para los años en curso. Como las prácticas de manipulación del SF₆ de los fabricantes de equipos pueden haber cambiado sustancialmente desde 1995 (p.ej., se recupera más gas), *no es una buena práctica* aplicar las tasas actuales de pérdida a estimaciones históricas. Agregar las tasas de pérdida determinadas en las ventas mundiales y regionales y en los análisis de emisiones puede ayudar a ofrecer una estimación no sesgada para los años anteriores. Es una *buena práctica* calcular nuevamente las emisiones de conformidad con la orientación suministrada en la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”, con todos los supuestos claramente documentados.

En el sector de los servicios públicos, si no se cuenta con datos históricos del período 1970-1995, es una *buena práctica* preparar estimaciones usando el método de arriba abajo y luego calibrarlo como se ha expuesto. Tanto las tasas de fugas en los nuevos equipos como la frecuencia de recarga y de mantenimiento de rutina se redujeron entre 1970 y 1995²⁸. Es una *buena práctica* no aplicar las tasas generales de pérdida actuales (posteriores a 1995) a los años históricos. En este caso, pueden usarse también tasas de pérdida agregadas.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Al usar métodos de nivel 3, las estimaciones de las emisiones resultantes probablemente sean más exactas que los métodos de nivel 2 o de nivel 1, en el orden de $\pm 10\%$. Si los estudios son incompletos o sólo se cuenta con datos de consumo de arriba a abajo, la incertidumbre correspondiente será mayor. Entre las fuentes de incertidumbre en las estimaciones con métodos de nivel 3 cabe citar, en particular:

- El SF₆ exportado por los fabricantes de equipos (en equipos o por separado en recipientes);
- El SF₆ importado por los fabricantes de equipos extranjeros (en equipos o en recipientes);

²⁸ Las normas para las fugas de GIS son ahora del 1%, pero eran de hasta de un 3% antes de 1980. Además, los intervalos de mantenimiento han aumentado, de 3-5 años a 8 años para los disyuntores y a unos 12 años para los GIS.

- El SF₆ devuelto a las instalaciones de reciclaje extranjeras;
- El retraso entre las emisiones y la reparación por el servicio técnico²⁹;
- La vida útil de los equipos.

Las incertidumbres en los factores de emisión por defecto recomendados para el método de nivel 2 se muestran en el cuadro 3.13, “Incertidumbres en los factores de emisión por defecto para las emisiones de SF₆ procedentes de equipos eléctricos”. Como en el método de nivel 1 se estiman las emisiones potenciales más que las reales, las estimaciones de nivel 1 tendrán una incertidumbre del orden del 100% o más al representar una estimación de las emisiones reales.

CUADRO 3.13 INCERTIDUMBRES EN LOS FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LAS EMISIONES DE SF ₆ PROCEDENTES DE EQUIPOS ELÉCTRICOS									
Fase	Fabricación		Instalación		Uso		Equipo retirado		
Región	<1996	1996-	<1996	1996-	<1996	1996-	Vida útil	Restante	Recuperación
Europa	±30%	±30%	ND	±30%	ND	ND	ND	ND	ND
Japón	±30%	±30%	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mundial	Mayor	Mayor	±30%	±30%	±40%	±50%	±30%	±5%	ND

ND= no disponible.
Fuente: Olivier y Bakker (2000).

3.5.1.2 Presentación de datos y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones para los inventarios nacionales de emisiones, como se expone en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. No es práctico incluir toda la documentación que figura en el informe del inventario nacional. Pero el inventario debería contener resúmenes de los métodos usados y referencias a los datos fuente, de modo que las estimaciones de las emisiones presentadas sean transparentes y puedan rastrearse las etapas que se han seguido para calcularlas.

Se ofrecen algunos ejemplos de documentación y presentación específicas pertinentes para esta categoría de fuentes, que aseguran la transparencia en las estimaciones de las emisiones presentadas, en el cuadro 3.14, “Buena práctica para presentar información sobre las emisiones de SF₆ procedentes de equipos eléctricos, por niveles”.

Pueden surgir cuestiones de confidencialidad cuando haya cantidades limitadas de fabricantes o de servicios públicos. En tales casos, quizás sea necesaria la presentación agregada de todo el sector de equipos eléctricos o incluso del total nacional de aplicaciones del SF₆. Si las respuestas a la encuesta no pueden ser reveladas como información pública, tal vez sea necesaria la revisión por un tercero de los datos de la encuesta, en apoyo de las actividades de verificación de los datos.

²⁹ El método basado en las ventas está destinado a brindar una buena estimación de la cantidad de productos químicos empleados para sustituir los productos químicos emitidos en un año determinado. Sin embargo, como algunos equipos pueden tener fugas pero seguir funcionando, de todos modos, con su carga incompleta, los productos químicos emitidos no siempre se sustituyen durante el año en que se advierten fugas. Por eso, en algunas circunstancias, el método basado en las ventas puede sobrestimar o subestimar levemente las emisiones reales. (El efecto neto del retraso es que las emisiones parecen producirse más tarde en la vida del equipo que lo que realmente ocurre.) Deberían investigarse la frecuencia del servicio técnico y la tasa de aumento de las existencias en los equipos para averiguar la magnitud de cualquier error.

CUADRO 3.14 BUENA PRÁCTICA PARA PRESENTAR INFORMACIÓN SOBRE LAS EMISIONES DE SF₆ PROCEDENTES DE EQUIPOS ELÉCTRICOS, POR NIVELES						
Datos	Nivel 3a	Nivel 3b	Nivel 3c	Nivel 2a	Nivel 2b	Nivel 1
Ventas anuales de SF ₆ a los fabricantes de equipos y a servicios públicos			X			X
Capacidad de placa-marca de los nuevos equipos	X	X	X	X		
Capacidad de placa-marca de los equipos existentes				X	X	
Capacidad de placa-marca de los equipos retirados	X	X	X	X	X	
SF ₆ destruido	X	X	X			X
SF ₆ en inventario al comenzar el año	X	X				
SF ₆ en inventario al finalizar el año	X	X				
SF ₆ comprado por cada instalación	X	X				
SF ₆ vendido o devuelto por cada instalación	X	X				
SF ₆ enviado fuera del sitio para su reciclaje	X	X				
SF ₆ devuelto al sitio después del reciclaje	X	X				
SF ₆ usado para llenar nuevos equipos	X					
SF ₆ usado para servicio técnico de los equipos	X					
SF ₆ recuperado de los equipos retirados	X					
Factores de emisión/recuperación				X	X	
Documentación sobre los factores, si es específica del país				X	X	
Producción de SF ₆						X
Consumo de SF ₆ por otros usos						X
Importaciones de SF ₆						X
Exportaciones de SF ₆						X

3.5.1.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buena práctica* realizar exámenes de control de calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad y procedimientos de garantía de la calidad, como se expone en el capítulo 8, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Se exponen a continuación otros procedimientos específicos para los equipos eléctricos:

Comparación de las estimaciones de las emisiones usando diferentes enfoques

Los organismos encargados de los inventarios deberían sumar los datos de las instalaciones usados como parte de un método de abajo a arriba y confrontar esos datos con las emisiones a escala nacional calculadas usando los valores por defecto del IPCC (método de nivel 2b) o las emisiones potenciales estimadas usando datos nacionales de consumo aparente (método de nivel 1). Con el método de nivel 1 se puede fijar un límite superior

a las emisiones que cabe prever de la suma de las plantas individuales, si aumenta o es estable el uso anual de equipos que contienen SF₆ en esas fuentes. El nivel 1 subestimarán las emisiones anuales si se reduce la tendencia a llenar nuevos equipos.

Revisión de los datos de actividad en las instalaciones

En todos los casos en que se obtienen datos de actividad específicos de cada sitio mediante encuestas, los organismos encargados de los inventarios deberían comparar los datos de actividad entre sitios (ajustándolos por tamaño o capacidad relativos) para identificar los valores atípicos importantes. Deberían investigar todo valor atípico para determinar si pueden explicarse las diferencias o si existe un error en la actividad presentada.

Los organismos encargados de los inventarios deberían comparar la producción nacional de SF₆, ajustada para las importaciones y exportaciones, con los datos de actividad nacionales agregados sobre el SF₆ para esta fuente. Este uso total nacional puede considerarse un límite superior para las emisiones de SF₆.

Verificación de las estimaciones de las emisiones

Para los países grandes, quizás sea posible proceder a un cotejo independiente de las estimaciones totales nacionales de las emisiones de SF₆ con las estimaciones de arriba abajo derivadas de las mediciones locales de la concentración en la atmósfera, siempre que pueda hacerse con bastante precisión el cálculo de las emisiones con modelo inverso.

Los organismos encargados de los inventarios deberían comparar los factores de emisión efectivos (tasas de pérdida) con los valores presentados por otros países de la región o con los valores por defecto publicados en la bibliografía científica que se calibran con las concentraciones totales en la atmósfera mundial. La presentación transparente, como ya se ha expuesto, es fundamental para hacer comparaciones a escala internacional.

3.5.2 Otras fuentes de SF₆

En las *Directrices del IPCC* (Vol. 3, sección 2.17.4.7, “Estimación de las emisiones de HFC y PFC procedentes de otras aplicaciones”) se describen otros usos del SF₆ que generan emisiones. De esta categoría de fuentes se excluyen las siguientes categorías de fuentes que se presentan en otra parte:

- Producción y uso en equipos eléctricos;
- Producción de magnesio y aluminio;
- Fabricación de semiconductores;
- Sustituto en aplicaciones de sustancias destructoras del ozono tales como los CFC y los halones (p.ej., aerosoles, extintores de incendios).

Entre las aplicaciones restantes identificadas en esta categoría de fuentes figuran:

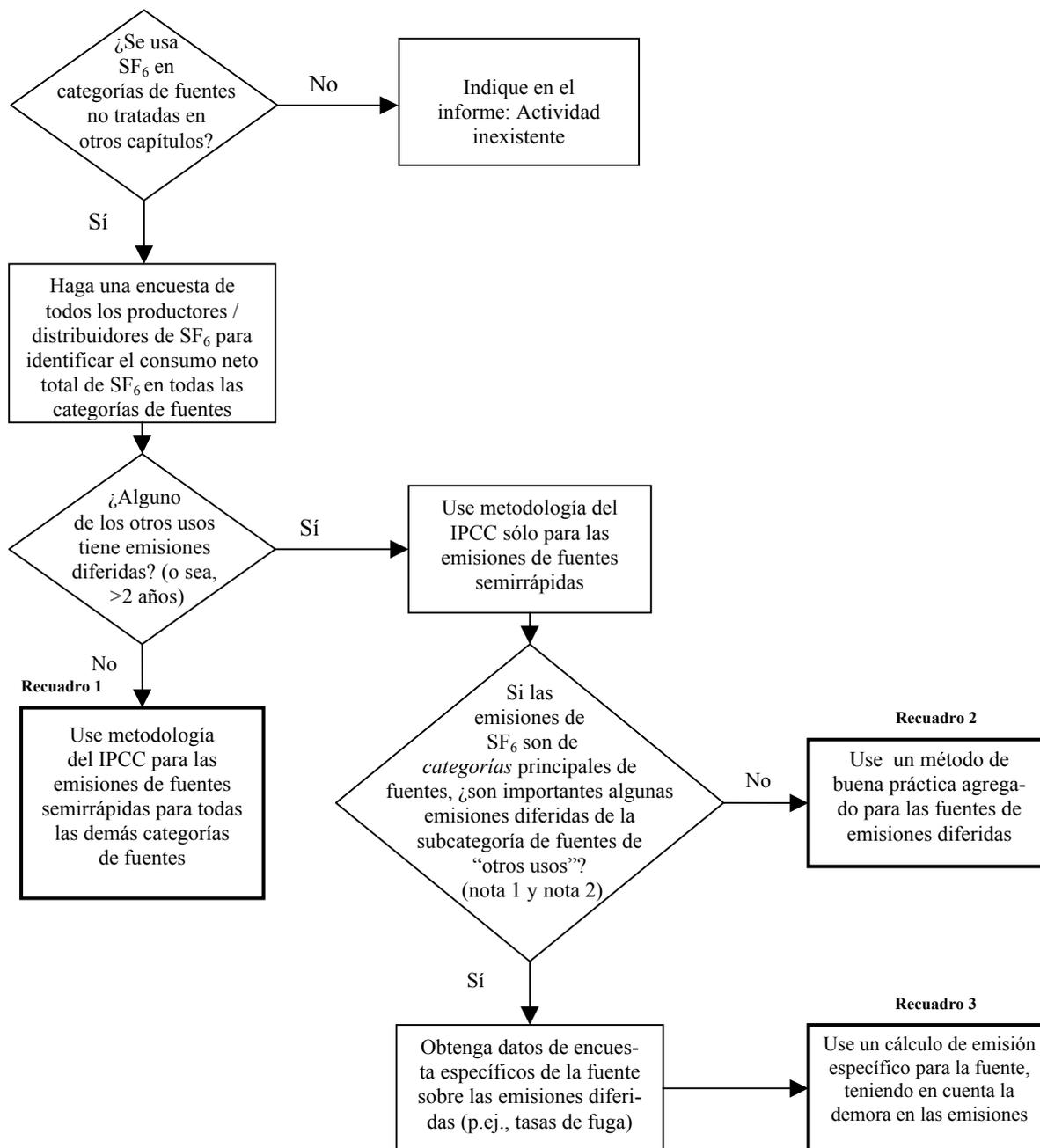
- Detectores de gas y de aire en la investigación y en los detectores de fugas;
- Finalidades médicas;
- Equipos usados en aceleradores, láseres y anteojos de visión nocturna;
- Aplicaciones militares;
- Ventanas insonorizadas;
- Aplicaciones utilizando su propiedad adiabática, p.ej., neumáticos de automotores y elementos deportivos, como pelotas de tenis o suelas de zapatos (o sea, usando su escasa permeabilidad a través del caucho).

3.5.2.1 Aspectos metodológicos

ELECCIÓN DEL MÉTODO

El método de *buen práctica* consiste en usar datos de importación, exportación y consumo de arriba a abajo derivados de productores y distribuidores nacionales de SF₆, desagregados por tipos principales de aplicación de SF₆ (véase la figura 3.8, “Árbol de decisiones para otros usos del SF₆”). Para obtener estos datos habrá que realizar una encuesta de todos los productores y distribuidores de SF₆ e identificar el consumo neto total de SF₆. Una vez obtenidos los datos, debería estimarse la cantidad de SF₆ consumida por aplicación en esta categoría de fuentes.

Figura 3.8 Árbol de decisiones para otros usos del SF₆



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema de inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país, en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las categorías principales de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.)

Nota 2: Como regla empírica, una subcategoría de fuentes sería importante si representa un 25-30% de las emisiones procedentes de la categoría de fuentes.

En muchas de las aplicaciones varias identificadas más arriba, el SF₆ se emite dentro de los dos años de consumo (p.ej., los detectores y las aplicaciones médicas). Una *buena práctica* al calcular las emisiones de SF₆

procedentes de esas aplicaciones emisoras “semirrápidas” es usar la fórmula siguiente, expuesta en las *Directrices del IPCC* :

ECUACIÓN 3.22

$$\text{Emisiones en año } t = (0,5 \cdot \text{Cantidad vendida en año } t) + (0,5 \cdot \text{Cantidad vendida en año } t - 1)$$

Esta ecuación es semejante a la ecuación para las emisiones de halocarbonos, en las que se supone un retraso medio de un año.

Si como resultado de una encuesta inicial parecen importantes las aplicaciones con emisiones distintivas demoradas, es una *buena práctica* usar un cálculo de las emisiones específico para la categoría de fuentes, tomando en cuenta la demora en las emisiones. Para dos aplicaciones de emisiones diferidas pueden usarse las siguientes fórmulas (basadas en la experiencia en Alemania):

- *Aplicaciones de las propiedades adiabáticas*: Para los neumáticos de automotores, se supone una demora de 3 años en las emisiones (Schwarz *et al.*, 1996). Para otras aplicaciones como los zapatos y las pelotas de tenis, puede usarse la misma demora:

ECUACIÓN 3.23

$$\text{Emisiones en el año } t = \text{Ventas en el año } t - 3$$

- *Ventanas insonorizadas de doble vidrio*: Aproximadamente un 33% de la cantidad total de SF₆ comprada se descarga durante el montaje (o sea, al llenar la ventana de doble vidrio). De las existencias restantes que quedan contenidas dentro de la ventana, se supone una tasa anual de fugas del 1% (incluso por vidrios quebrados). De modo que al final de la vida útil de 25 años queda un 78% de las existencias iniciales. La aplicación del SF₆ en las ventanas comenzó en 1975, así que sólo está empezando a producirse la eliminación. Las emisiones de esta subcategoría de fuentes deberían calcularse usando las ecuaciones 3.24 a 3.26:

ECUACIÓN 3.24

$$\text{Emisiones durante el montaje} = 0,33 \cdot \text{capacidad de las ventanas}$$

ECUACIÓN 3.25

$$\text{Emisiones por fugas en el año } t = 0,01 \cdot \text{existencias en las ventanas}$$

ECUACIÓN 3.26

$$\text{Emisiones en la eliminación} = \text{Cantidad que queda en las ventanas al final de la vida útil} \cdot (1 - \text{Factor de recuperación})$$

Salvo que se cuente con datos específicos del país, debería suponerse en la ecuación 3.26 un valor de cero para el factor de recuperación por defecto. El uso en aplicaciones militares y para aceleradores de partículas podría generar también emisiones demoradas. Si no se dispone de información específica para estas subcategorías de fuentes, es una *buena práctica* tratarlas como emisiones semirrápidas.

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión que se requieren para estas estimaciones pueden encontrarse en las *Directrices del IPCC*. Si los organismos encargados de los inventarios usan datos regionales o específicos de un país, es una *buena práctica* documentarlos claramente.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad para estas subcategorías de fuentes deberían ser coherentes con los datos usados en el cálculo de las emisiones de SF₆ procedentes de otras categorías de fuentes (p.ej., equipos eléctricos), para asegurarse de que la estimación es completa y de que no se computan por partida doble.

EXHAUSTIVIDAD

Los datos, por cada aplicación, sobre importación, exportación y consumo de los productores y distribuidores nacionales de SF₆ serán suficientes, siempre que: i) se identifique a todos los productores y distribuidores de SF₆, ii) los consumidores internos sólo compren el SF₆ a proveedores nacionales, y iii) las importaciones y exportaciones en productos (p.ej., elementos deportivos) no tengan mayor importancia. Es una *buena práctica* examinar regularmente si existen nuevos distribuidores para asegurarse de que no haya usuarios finales que importen SF₆ directamente (a granel) y de que no se importen en grandes cantidades productos identificados que contengan SF₆.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Para las estimaciones en un año base, quizás sea necesario tener datos de unos cuantos años anteriores al año base; un año para las emisiones semirrápidas y más años para las aplicaciones con emisiones demoradas. Es una *buena práctica* calcular las emisiones de SF₆ usando el mismo método para cada año de la serie temporal. Cuando no se cuenta con datos para sustentar un método más riguroso para todos los años de la serie temporal, es una *buena práctica* calcular nuevamente de conformidad con la orientación presentada en la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Si la encuesta de ventas internas, por cada aplicación, de los productores y distribuidores nacionales de SF₆ es completa, los datos anuales de consumo aparente resultarán muy exactos. La incertidumbre en las estimaciones de las emisiones será igualmente reducida cuando los usos sean todos emisiones semirrápidas. En caso de aplicaciones con emisiones demoradas, las incertidumbres son:

- Tiempos de demora por defecto en aplicaciones con propiedades adiabáticas: 3±1 año;
- Valores por defecto para ventanas insonorizadas: 50±10% para las emisiones en la carga y 1±0,5% en las emisiones por fugas y roturas.

3.5.2.2 Presentación de datos y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones destinadas a los inventarios nacionales de emisiones como se expone en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. No es práctico incluir toda la documentación que figura en el informe del inventario nacional. Pero el inventario debería incluir resúmenes de los métodos usados y referencias a los datos fuente, de modo que las estimaciones de las emisiones presentadas sean transparentes y puedan rastrearse las etapas que se han seguido para calcularlas.

En aras de la transparencia, es una *buena práctica* presentar tanto las emisiones reales como las potenciales de la categoría de fuentes “otros usos” separadas de las otras emisiones de SF₆. Además, es útil aportar información sobre las aplicaciones específicas que se incluyen en esta categoría de fuentes para comparar las (estimaciones de las) prácticas nacionales con otros países, a escala regional o mundial. Además, deberían documentarse los métodos aplicados y las referencias. En las subcategorías de fuentes con emisiones demoradas, deberían presentarse las emisiones anuales, los tiempos de demora y los factores de emisión por tipo de subcategoría de fuentes.

3.5.2.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buena práctica* realizar exámenes de control de la calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de la calidad y procedimientos de garantía de la calidad, como se

expone en el capítulo 8, en especial si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados del inventario a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Se resumen a continuación otros procedimientos específicos para otras fuentes de SF₆:

Comparación de las estimaciones de las emisiones usando diferentes enfoques

Los organismos encargados del inventario deberían comparar el total de emisiones potenciales nacionales de SF₆ (menos la cantidad asignada a la categoría de uso en equipos eléctricos, la categoría de uso en la fabricación de semiconductores, la categoría de producción de metales y la categoría de producción de SF₆) con las emisiones de SF₆ estimadas procedentes de otros usos. Las emisiones nacionales potenciales pueden usarse como límite superior de las emisiones.

Examen de los datos de actividad

Los organismos encargados de los inventarios deberían comparar los datos de actividad presentados por diferentes productores y distribuidores, y, ajustándolos según el tamaño o la capacidad relativos de las empresas, identificar los valores atípicos importantes. Debería investigarse todo valor atípico para determinar si pueden explicarse las diferencias o si existe un error en la actividad presentada.

Comparación de las emisiones con otros países

Los organismos encargados del inventario deberían comparar las emisiones de otros usuarios finales de SF₆ incluidas en el inventario nacional con la información presentada por otros países semejantes. Deberían compararse con otros países, para cada fuente, las emisiones per cápita o por unidad de PIB. Si las cifras nacionales parecen ser relativamente muy altas o muy bajas, debería ofrecerse una justificación.

3.5.3 Producción de SF₆

3.5.3.1 Aspectos metodológicos

En las *Directrices del IPCC* no se indica un factor de emisión por defecto para las pérdidas involuntarias durante la producción y manipulación del SF₆. Aunque es probable que esas emisiones sean pequeñas, en algunos países pueden ser importantes. Por ejemplo, la experiencia en Japón indica un factor de emisión del 8% del gas producido, incluidas las pérdidas en la manipulación durante la eliminación del gas residual en los cilindros devueltos (Suizu, 1999). Esto se debe a que hay una gran demanda de gas SF₆ muy purificado y puede descargarse el gas impuro.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Es una *buena práctica* elegir el método de conformidad con el árbol de decisiones de la figura 3.9, “Árbol de decisiones para la producción de SF₆”. La cantidad de grandes productores de SF₆ es muy reducida: unas 6 empresas en el mundo producen SF₆ con unas 10 instalaciones de producción en distintas regiones del globo (Preisegger, 1999). Quizás la cantidad de pequeños productores aumente en un futuro próximo, en particular en las economías en transición y en China. Pero no debería ser difícil de compilar una encuesta de productores nacionales. Esos productores deberían brindar una estimación de sus emisiones totales.

Las emisiones de SF₆ pueden ocurrir durante la producción, así como en la manipulación de nuevo gas en el sitio. A partir de la experiencia alemana, se sugiere un factor de emisión por defecto de 0,2% de la cantidad total de SF₆ producida para los países en que el uso final predominante no requiere un gas SF₆ muy purificado (p.ej., equipos eléctricos, ventanas aisladas) (Preisegger, 1999). Como ya se ha expuesto, en los países en que los principales usos requieren un gas SF₆ muy purificado (p.ej., fabricación de semiconductores), el valor por defecto debería ser el 8%. Deberían usarse datos nacionales, si están disponibles.

El reciclaje del gas usado puede estar a cargo de los productores del nuevo gas o de otras firmas de reciclaje. Pueden producirse emisiones durante la manipulación y purificación del gas antiguo y la manipulación del gas reciclado. No existen factores de emisión específicos. De modo que es una *buena práctica* usar el factor por defecto para la nueva producción (0,2%).

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Las emisiones de la producción pueden tener escasa importancia (p.ej., cuando los depuradores captan el gas SF₆ descargado). Por lo tanto, el rango de incertidumbre estimado para el factor de emisión por defecto es de 0,2±0,2 (%). La incertidumbre relativa del factor de emisión por defecto del 8% es del mismo orden.

EXHAUSTIVIDAD

Para algunos organismos encargados del inventario, puede ser difícil identificar los pequeños productores y, en particular, las firmas de reciclaje. Pero en las estimaciones iniciales basadas en el balance de masa del SF₆ nacional se debería identificar si esas entidades representan un aporte considerable a las emisiones totales nacionales.

3.5.3.2 Presentación de datos y documentación

Pueden surgir cuestiones de confidencialidad cuando haya cantidades limitadas de fabricantes. En tales casos, quizás sea necesaria la presentación más agregada del total nacional de aplicaciones del SF₆. Si las respuestas a la encuesta no pueden ser reveladas como información pública, tal vez sea necesaria la revisión por un tercero de los datos de la encuesta, en apoyo de las actividades de verificación de los datos.

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones para los inventarios nacionales de emisiones, como se expone en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. No es práctico incluir toda la documentación que figura en el informe del inventario nacional. Pero el inventario debería incluir resúmenes de los métodos usados y referencias a los datos fuente, de modo que las estimaciones de las emisiones presentadas sean transparentes y puedan rastrearse las etapas que se han seguido para calcularlas.

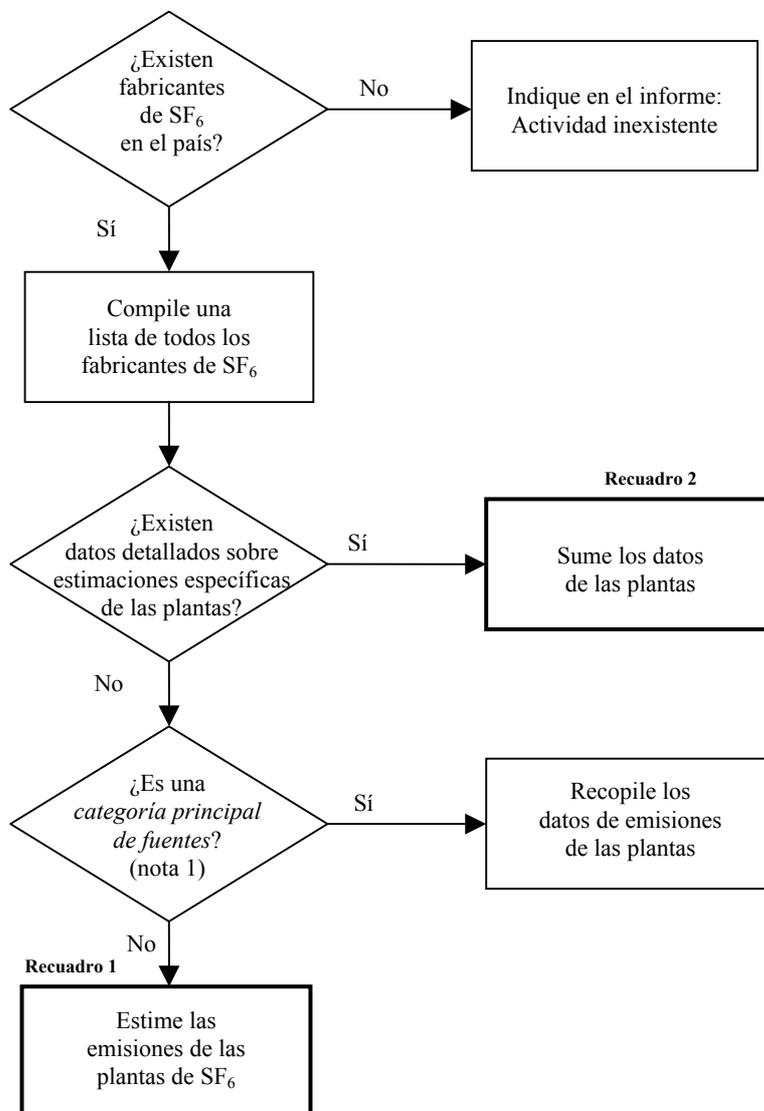
3.5.3.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buen práctica* realizar exámenes de control de la calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de la calidad y procedimientos de garantía de la calidad, como se expone en el capítulo 8, en especial si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados del inventario a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Comparación de las estimaciones de las emisiones usando diferentes enfoques

Los organismos encargados del inventario deberían comparar la estimación basada en los datos agregados recogidos de los productores con una estimación basada en los datos nacionales de producción y el factor de emisión por defecto sugerido de 0,2%. Deberían investigar las discrepancias importantes, en cooperación con los productores, para determinar si existen diferencias sin explicación.

Figura 3.9 Árbol de decisiones para la producción de SF₆



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema de inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país, en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las categorías principales de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.)

EMISIONES DE PFC, HFC Y SF₆ PROCEDENTES DE LA FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES

3.6.1 Aspectos metodológicos

La industria de los semiconductores emite actualmente fluorocarbonos (CF₄, C₂F₆, C₃F₈, c-C₄F₈, CHF₃), trifluoruro de nitrógeno (NF₃) y hexafluoruro de azufre (SF₆) procedentes de sus procesos de fabricación.³⁰ Esos gases, conocidos colectivamente como compuestos fluorados (Cfls), se emplean en dos etapas importantes de la fabricación de semiconductores: i) grabado con plasma en películas finas y ii) limpieza de las cámaras de instrumentos de deposición de emanaciones químicas en fase de vapor (CVD). Además, una fracción de los fluorocarbonos usados en el proceso de producción se convierte en CF₄.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Las emisiones varían según los gases usados en la fabricación de diferentes tipos de semiconductores, el proceso (o, en términos más generales, el tipo de proceso (CVD o grabado)) empleado, la marca del instrumento de proceso utilizado y la aplicación de una tecnología de reducción de las emisiones en la atmósfera.

En las *Directrices del IPCC* no se indica orientación específica acerca del modo de estimar las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la fabricación de semiconductores. Con todo, usando los principios metodológicos básicos resumidos en las *Directrices del IPCC* para otras categorías de fuentes, se describen a continuación cuatro métodos alternativos para estimar las emisiones de Cfls. El uso del término “nivel” en esta sección corresponde a las crecientes demandas de datos y a la complejidad del proceso de estimación de las emisiones. La elección de los métodos dependerá de la disponibilidad de datos y se resume en el árbol de decisiones, véase la figura 3.10, “Árbol de decisiones para las emisiones de Cfls procedentes de la fabricación de semiconductores”.

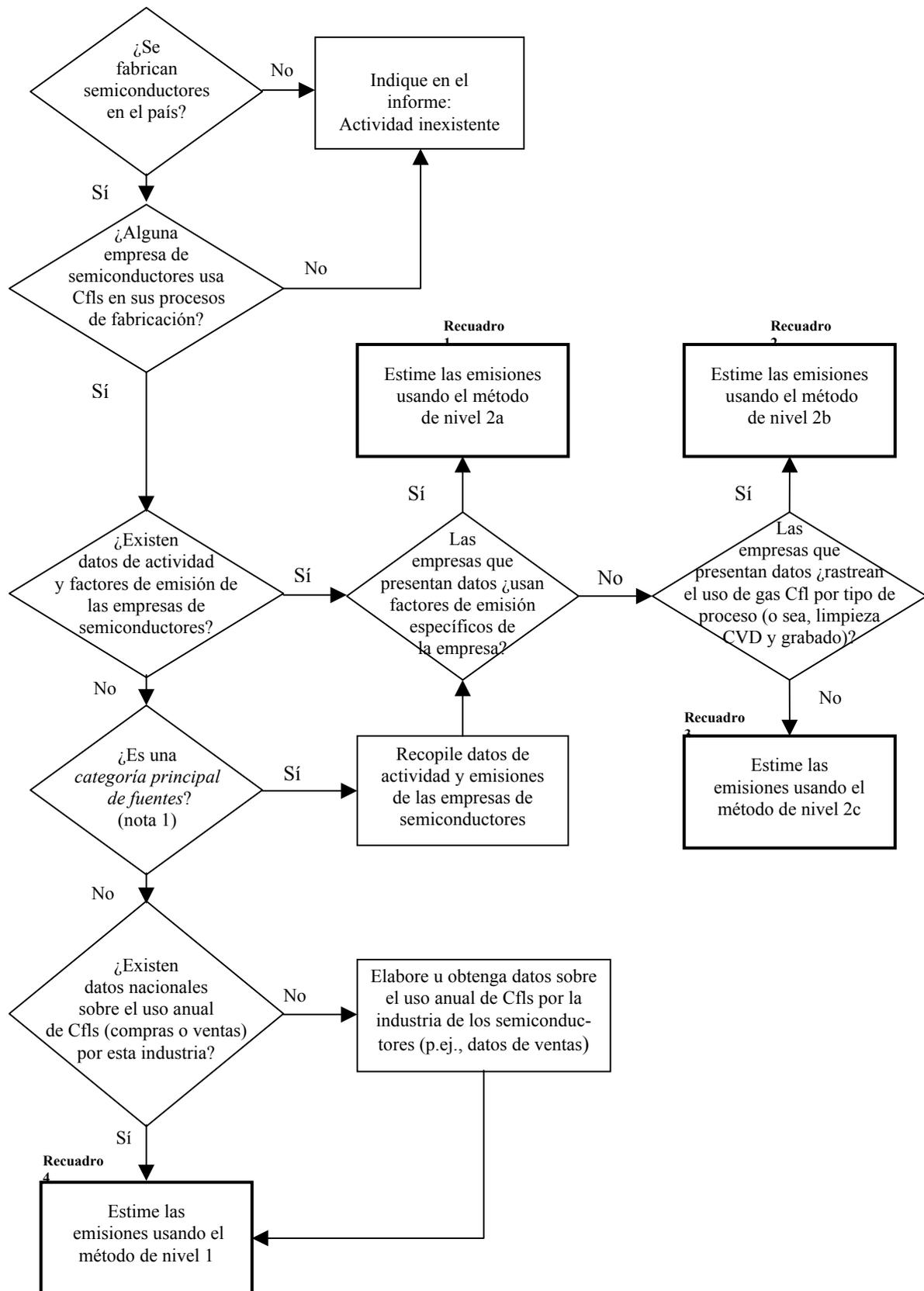
Se considera actualmente que la vigilancia continua de las emisiones no es un medio técnica ni económicamente viable de estimar las emisiones procedentes de esta industria. Los cuatro métodos se basan, pues, en datos de la venta y compra de gas y en una serie de parámetros que afectan las emisiones. El método más riguroso, el método de nivel 2a, requiere para los parámetros valores específicos de las empresas, más que valores por defecto. En el método de nivel 2b se usan datos específicos de las empresas sobre las cuotas de gas usadas, respectivamente, en el *grabado* y en la *limpieza* y la cuota de gas usada en los procesos con tecnología de control de las emisiones, pero se recurre a valores por defecto para algunos de los otros parámetros. En el método de nivel 2c se usan datos específicos de cada empresa sobre la cuota de gas empleada en los procesos con tecnología de control de las emisiones, pero no se distingue entre grabado y limpieza, y se usan valores por defecto para los otros parámetros. En el método de nivel 1 se usan valores por defecto para todos los parámetros y no se tiene en cuenta el uso de la tecnología de control de las emisiones.

Método de nivel 2a – Parámetros específicos para cada proceso

Este método es apropiado cuando se cuenta con valores específicos de cada empresa o de cada planta para los siguientes parámetros: la cantidad de gas con que se alimenta cada proceso o instrumento (o en pequeños subconjuntos de procesos o instrumentos), la fracción del gas comprado que queda en el recipiente de expedición después de usarlo (“heel”), la fracción del gas “usado” (destruido o transformado) en el proceso de fabricación de semiconductores, la fracción del gas convertido en CF₄ durante la fabricación de semiconductores, la fracción del gas con que se alimentan los procesos con tecnologías de control de las emisiones y la fracción del gas destruido por esas tecnologías de control de las emisiones. A los fines de la transparencia y la comparabilidad, deberían documentarse bien los valores usados para esos parámetros de emisión (véase Elección de los factores de emisión).

³⁰Aunque el NF₃ no tiene actualmente un potencial de calentamiento atmosférico (PCA) reconocido por el IPCC, en este capítulo se examinan las emisiones de NF₃. Molina *et al.* han estimado un PCA-100 de 8.000 y una vida útil en la atmósfera de 740 años (Molina, 1995).

Figura 3.10 Árbol de decisiones para las emisiones de compuestos fluorados procedentes de la fabricación de semiconductores



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema de inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país, en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las categorías principales de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.)

Las emisiones resultantes del uso de un Cfl específico (Cf_i) consisten en emisiones del propio Cf_i más emisiones de CF_4 creadas como subproducto durante el uso del Cf_i . Debería repetirse el cálculo siguiente para cada gas en cada tipo de proceso:

ECUACIÓN 3.27

$$\text{Emisiones de } Cf_i = (1 - h) \cdot \sum_p [Cf_{i,p} \cdot (1 - C_{i,p}) \cdot (1 - a_{i,p} \cdot d_{i,p})]$$

Donde:

p = Proceso o tipo de proceso (grabado o limpieza en cámara de CVD)

$Cf_{i,p}$ = kg de gas i con que se alimenta un proceso/tipo de proceso p (CF_4 , C_2F_6 , C_3F_8 , C_4F_8 , CHF_3 , NF_3 , SF_6)

h = Fracción del gas que queda en el recipiente de expedición después de usarlo (“heel”)

$C_{i,p}$ = Tasa de uso (fracción destruida o transformada) de cada gas i y proceso/tipo de proceso p (en kg)

$a_{i,p}$ = Fracción del volumen de gas con que se alimentan los procesos con tecnologías de control de las emisiones (específica de cada empresa o planta)

$d_{i,p}$ = Fracción del gas i destruida por la tecnología de control de las emisiones. (Si se usa más de una tecnología de control de las emisiones en el proceso/tipo de proceso p , este es el promedio de la fracción destruida por las tecnologías de control de las emisiones, donde cada fracción se pondera por la cantidad de gas con que se alimentan los instrumentos que usan esa tecnología.)

ECUACIÓN 3.28

$$\text{Emisiones de } CF_4 \text{ como subproducto del } Cf_{i,p} = (1 - h) \cdot \sum_p [B_{i,p} \cdot Cf_{i,p} \cdot (1 - a_{i,p} \cdot d_{CF_4,p})]$$

Donde:

$B_{i,p}$ = Fracción del gas i transformada en CF_4 para cada proceso/tipo de proceso

$d_{CF_4,p}$ = Fracción del CF_4 subproducto destruida por la tecnología de control de las emisiones (p.ej., los tipos de tecnologías de control enumerados en el cuadro 3.15, “Factores de emisión por defecto para las emisiones de HFC, PFC y SF_6 procedentes de la fabricación de semiconductores”)

Después de estimar las emisiones de CF_4 para cada gas, los organismos encargados del inventario o las empresas deberían sumar las emisiones de todos los gases para obtener una estimación de las emisiones agregadas de CF_4 .

Método de nivel 2b – Parámetros específicos del tipo de proceso

En el método de nivel 2b también se usan las ecuaciones 3.27 y 3.28. Sin embargo, en vez de distinguir entre procesos o pequeños conjuntos de procesos, se distingue sólo entre tipos de proceso (grabado y limpieza en cámara CVD). En consecuencia, el método de nivel 2b requiere datos sobre las cantidades agregadas de cada gas con que se alimentan todos los procesos de grabado y todos los procesos de limpieza ($Cf_{i,p}$), no ya sobre las cantidades de cada gas con que se alimenta cada proceso individual. Se emplean valores por defecto generales para toda la industria aplicados a cualquiera o cada uno los siguientes datos: la fracción del gas que queda en el recipiente de expedición (h), la fracción del gas “usado” (destruido o transformado) por tipo de proceso ($C_{i,p}$) y la fracción del gas convertido en CF_4 en el tipo de proceso (B_i). También se presentan valores por defecto para la fracción del gas destruida por la tecnología de control de las emisiones ($d_{i,p}$ y $d_{CF_4,p}$). Los factores de emisión específicos de empresas o de plantas pueden sustituirse por valores por defecto cuando existan. En las ecuaciones se tiene en cuenta el uso específico en cada planta de dispositivos de control de las emisiones, pero no se tienen en cuenta las diferencias entre procesos o instrumentos individuales o entre las plantas de fabricación en cuanto a su combinación de procesos e instrumentos. De modo que las estimaciones de nivel 2b serán menos exactas que las estimaciones de nivel 2a.

Método de nivel 2c – Parámetros específicos de cada Cfl

En este método se calculan las emisiones para cada Cfl usado, a partir de datos específicos de cada empresa sobre las ventas o compras de gas y sobre las tecnologías de control de las emisiones. Se utilizan valores por defecto generales para toda la industria para la fracción del gas comprado que queda en el recipiente después de usarlo (h), la fracción del gas “usado” (destruido o transformado) en el proceso de fabricación de

semiconductores y la fracción del gas convertido en CF_4 en la fabricación de semiconductores. Como ocurre con los métodos de nivel 2a y 2b, las emisiones totales equivalen a la suma de las emisiones procedentes del gas Cfl_i usado en el proceso de producción más las emisiones de CF_4 como subproducto resultante del uso del gas Cfl_i , como se muestra en las ecuaciones 3.29 y 3.30. A diferencia de los métodos de nivel 2a y 2b, en el método de nivel 2c no se distingue entre procesos o tipos de proceso.

Como ya se ha expuesto en la sección sobre los factores de emisión, en el método de nivel 2c se usa el factor de emisión para el tipo de proceso (CVD o grabado) en que se usa más frecuentemente cada Cfl en la industria de los semiconductores. Este método refleja una tendencia actual, por la cual se tiende a usar predominantemente cada Cfl en un tipo determinado de proceso (CVD o grabado) en toda la industria de los semiconductores. Pero en los países en que las empresas o plantas se apartan considerablemente del patrón de uso aplicado en toda la industria (p.ej., al usar un gas principalmente en el grabado mientras los demás lo usan principalmente en la CVD), los organismos encargados de los inventarios deberían evaluar la posibilidad de que se introduzcan errores al usar el método de nivel 2c en vez del método de nivel 2b.

ECUACIÓN 3.29

$$\text{Emisiones de } Cfl_i = (1 - h) \cdot [Cfl_i \cdot (1 - C_i) \cdot (1 - a_i \cdot d_i)]$$

Donde:

Cff_i = Ventas/compras de gas i en kg (CF_4 , C_2F_6 , C_3F_8 , $c-C_4F_8$, CHF_3 , NF_3 , SF_6)

h = Fracción del gas que queda en el recipiente de expedición después de usarlo (“heel”)

C_i = Tasa de uso del gas (fracción destruida o transformada en el proceso)

a_i = Volumen de la fracción del gas i usada en los procesos con tecnologías de control de las emisiones (específico de cada empresa o planta)

d_i = Fracción del gas i destruida por la tecnología de control de las emisiones

ECUACIÓN 3.30

$$\text{Emisiones de } CF_4 \text{ como subproducto de } Cfl_i = (1 - h) \cdot [(B_i \cdot Cfl_i) \cdot (1 - a_i \cdot d_{CF_4})]$$

Donde:

B_i = kg de CF_4 creado por kg de gas i utilizado

d_{CF_4} = Fracción del CF_4 subproducto destruido por la tecnología de control de las emisiones

Después de estimar las emisiones de CF_4 para cada gas, los organismos encargados del inventario o las empresas deberían sumar las emisiones de todos los gases para obtener una estimación de las emisiones agregadas de CF_4 .

En este método no se tienen en cuenta las diferencias entre tipos de proceso (grabado y limpieza), procesos individuales o instrumentos.

Método de nivel 1 – Por defecto

El método de nivel 1 es el método de estimación menos exacto. Sólo debería usarse en los casos en que no se cuenta con datos específicos de las empresas. En este método se calculan las emisiones para cada Cfl usado a partir de los datos nacionales de venta o compra de gas. Se emplean valores por defecto generales para toda la industria para: la fracción del gas comprado que queda en el recipiente de expedición después de usarlo, la fracción del gas “usado” (transformado o destruido) en el proceso de fabricación de semiconductores y la fracción del gas transformado en CF_4 en la fabricación de semiconductores. Como ocurre con el método de nivel 2, las emisiones equivalen a la suma de las emisiones procedentes del gas Cfl_i usado en el proceso de producción más las emisiones de CF_4 como subproducto resultante del uso del gas Cfl_i , como se muestra en las ecuaciones 3.31 y 3.32.

ECUACIÓN 3.31

$$\text{Emisiones del } Cfl_i = (1 - h) \cdot [Cfl_i \cdot (1 - C_i)]$$

Donde:

Cfl_i = Ventas/compras de gas i en kg (CF_4 , C_2F_6 , C_3F_8 , $c-C_4F_8$, CHF_3 , NF_3 , SF_6)

h = Fracción del gas que queda en el recipiente de expedición después de usarlo (“heel”)

C_i = Tasa de uso del gas (fracción destruida o transformada en el proceso)

ECUACIÓN 3.32

$$\text{Emisiones de } CF_4 \text{ para un } Cfl_i = (1 - h) \cdot (B_i \cdot Cfl_i)$$

Donde:

B_i = kg de CF_4 creado por kg de gas i

Después de estimar las emisiones de CF_4 para cada gas, los organismos encargados de los inventarios o las empresas deberían sumar todos los gases para obtener una estimación de las emisiones de CF_4 agregadas.

En este método no se tienen en cuenta las diferencias entre tipos de proceso (grabado y limpieza), procesos individuales o instrumentos. Tampoco se tiene en cuenta el uso posible de dispositivos de control de las emisiones en la atmósfera.

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Como ya se ha expuesto, los factores de emisión basados en variables simples en la producción de semiconductores no son suficientes para dar cuenta de todos los factores que influyen en las emisiones. Para preparar una estimación rigurosa se necesitan datos de cada uno de los siguientes parámetros:

- Los gases usados;
- El tipo de proceso (CVD o grabado) usado;
- La marca del instrumento de proceso usado;
- La tecnología de reducción de las emisiones en la atmósfera.

Se han formulado valores por defecto para los parámetros usados en los métodos de nivel 1, nivel 2b y 2c que reflejan la bibliografía y el dictamen de expertos (véase el cuadro 3.15, “Factores de emisión por defecto para las emisiones de HFC, PFC y SF_6 procedentes de la fabricación de semiconductores”). Dada la dificultad de representar las diversas condiciones de producción dentro de la industria de los semiconductores, los parámetros de emisión por defecto son intrínsecamente inseguros. Su exactitud puede mejorarse con conjuntos más grandes de datos medidos y cuando los factores se aplican a procesos semejantes usando recetas químicas semejantes o idénticas. Se admite que los factores de emisión para las tecnologías de destrucción (reducción) presentan actualmente mayor incertidumbre y variabilidad que los de los procesos de fabricación. Se prevé que la rápida innovación técnica de los proveedores de productos químicos y equipos y de los fabricantes de semiconductores dé por resultado importantes reducciones en las emisiones dentro de esta industria en los próximos 10 años. Es probable que estas innovaciones afecten también a los factores de emisión. La industria de los semiconductores ha establecido un mecanismo, a través del Consejo Mundial de Semiconductores, para evaluar el factor mundial de las emisiones. Quizás los organismos encargados del inventario estimen conveniente consultar periódicamente con la industria para comprender mejor las circunstancias mundiales y nacionales.

El valor por defecto para la fracción del gas que queda en el recipiente de expedición (“heel”) es de 0,10.

CUADRO 3.15							
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LAS EMISIONES DE HFC, PFC Y SF₆							
PROCEDENTES DE LA FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES							
	CF₄	C₂F₆	CHF₃	C₃F₈	c-C₄F₈	NF₃	SF₆
Nivel 1							
1 – C _i	0,8	0,7	0,3	0,4	0,3	0,2	0,5
B	NA	0,1	NA	0,2	NA	NA	NA
Nivel 2c							
1 – C _i	0,8	0,7	0,3	0,4	0,3	0,2	0,5
B	NA	0,1	NA	0,2	NA	NA	NA
Nivel 2b							
Grabado 1 – C _i	0,7	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3 ^a	0,5
CVD 1 – C _i	0,8	0,7	NA	0,4	ND	0,2	0,2
Grabado B	NA	0,1	NA	ND	NA	NA	NA
CVD B	NA	0,1	NA	0,2	NA	NA	NA
Tecnología control de emisiones (d)	CF₄	C₂F₆	CHF₃	C₃F₈	c-C₄F₈	NF₃	SF₆
Nivel 2c^b	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Nivel 2b							
Tubo caliente ^c	0,1	0,3	NP	NP	NP	0,5	0,1
Combustión con combustible ^d	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Plasma (con aditivo vapor de H ₂ O) ^e	0,9	NP	0,9	NP	0,9	0,9	0,9
Plasma (con aditivo O ₂)	0,9	NP	0,9	NP	0,9	0,8	0,8
Catalítico ^f	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Absorción criogénica	0,7	0,9	0,9	NP	NP	NP	0,9
Separación con membrana	0,8	0,9	NP	NP	NP	NP	0,9

^a El uso de NF₃ en el proceso de grabado es típicamente reducido en comparación con la CVD. Las emisiones agregadas de NF₃ procedente del grabado y la CVD en el nivel 2b no serán superiores, en general, a las estimaciones hechas con métodos de nivel 2c o nivel 1.

^b Los factores de la tecnología de control de las emisiones sólo son aplicables a la combustión con combustible, el plasma y los dispositivos catalíticos específicamente diseñados para reducir los Cfls. En el enfoque de nivel 2c, se supone que otras tecnologías, como los tubos calientes, tienen una eficiencia de destrucción del 0%.

Fuentes:

^c Informe de SEMATECH sobre transferencia de tecnología, SEMATECH, 1994.

^d Datos de vendedores verificados por fabricantes de semiconductores.

^e Proyecto de informe de SEMATECH sobre transferencia de tecnología, SEMATECH, 1999.

^f Se presentan datos sobre catalítico, absorción criogénica y separación con membrana en *Semicon SW 1999*, Austin, Texas, Estados Unidos.

NA = no se aplica, ND = no hay datos, NP = no se ha probado.

FACTORES DE EMISIÓN SOBRE INSTRUMENTOS DE PROCESO

Los procedimientos para calcular los factores de emisión sobre instrumentos de proceso para los métodos de nivel 1, nivel 2c y nivel 2b son idénticos. Los factores de emisión sobre instrumentos de proceso se definen como la cantidad de gas de efecto invernadero emitida, dividida por la cantidad de gas de efecto invernadero usada en el proceso. Los factores de emisión corresponden al término “ $(1 - C_i)$ ” en las fórmulas de nivel 1 y nivel 2. Por ejemplo, el factor de emisión de 0,8 para el CF_4 (véase el cuadro 3.15 anterior, valor de nivel 1) significa que el 80% del CF_4 usado en el proceso se emite como CF_4 . También se han calculado los factores de emisión de subproductos. El grupo de expertos determinó que la única emisión importante de un subproducto era la del CF_4 . Se determinó además que los únicos gases que emiten cantidades importantes de CF_4 como subproducto son el C_2F_6 y el C_3F_8 . Como resultado de este análisis, sólo se calcularon los factores de emisión del CF_4 como subproducto para el C_2F_6 y el C_3F_8 . Por ejemplo, un valor de 0,2 para el C_3F_8 (tomado del cuadro 3.15 anterior, valor de nivel 1) significa que el 20% del C_3F_8 usado se convierte en CF_4 .

Para calcular los factores de emisión de los instrumentos de proceso en el nivel 2b, se recopilaron datos de los fabricantes de equipos de proceso y de los fabricantes de semiconductores. Los datos se recopilaron por tipos de proceso (deposición de emisiones químicas en fase de vapor (CVD) o grabado) y también por tipos de gas (p.ej., C_2F_6 , CF_4). Los métodos usados para realizar las pruebas de las emisiones fueron la espectrografía de masa cuatripolar (QMS) en tiempo real y la espectroscopía infrarroja con transformación de Fourier (FTIR). Se usaron normas de calibración (generalmente mezclas de 1% con un balance de N_2) para cuantificar los resultados. Los requisitos de análisis de calidad y control de calidad que se respetaron se resumen en las “Orientaciones sobre la caracterización ambiental de los equipos”, revisión 3. Los factores de emisión para el nivel 2b (véase el cuadro 3.15 más arriba) son simplemente el promedio de los datos recopilados sobre cada gas para grabado y CVD, redondeados a una cifra significativa.

Para determinar los factores de emisión para los instrumentos de proceso de nivel 1 y nivel 2c, se requiere cierto conocimiento de las cantidades de gas usadas en los procesos típicos de fabricación de semiconductores. Los factores de emisión en el nivel 1 y el nivel 2c se obtuvieron determinando para cada uno de los gases qué tipo de proceso (CVD o grabado) usa más gas. Por ejemplo, los factores de emisión de nivel 2b para el SF_6 son 0,5 (grabado) y 0,2 (CVD). Como el uso predominante del SF_6 en la industria de los semiconductores se da en los procesos de grabado, se usó el factor de emisión para grabado de nivel 2b para el factor de emisión de SF_6 de nivel 1.

Para los factores de emisión en el nivel 2a, los fabricantes de semiconductores usan valores específicos de cada empresa o fábrica, en vez de usar los valores por defecto enumerados en el cuadro 3.15 anterior³¹. Para asegurarse de la calidad de los factores de emisión, deberían realizarse pruebas de emisión de conformidad con métodos acreditados³². Si efectúa las pruebas de emisiones un tercero proveedor, el fabricante de semiconductores debería asegurarse de que el tercero proveedor sea capaz de cumplir con todos los requisitos expuestos en la Revisión 3.0 de las Orientaciones para la caracterización ambiental de los equipos. Los fabricantes de semiconductores que usan factores de emisión indicados por el proveedor del equipo de instrumentos de proceso deberían asegurarse de que los factores de emisión sean aplicables a sus procesos específicos de fabricación. Los métodos de fabricación con parámetros de proceso (p.ej., presión, tasa de flujo) que se apartan de las condiciones centrales pueden tener factores de emisión diferentes de los que aporta el fabricante de los instrumentos³³.

FACTORES DE LA TECNOLOGÍA DE CONTROL DE LAS EMISIONES

Factores de emisión en el nivel 2b

Entre los supuestos para los factores de emisión de la tecnología de control de las emisiones en los métodos de nivel 2b figuran:

- i) Los resultados enumerados corresponden a pruebas de emisiones reales en fábrica; no se incluyeron resultados de laboratorio;

³¹ “Específico de la fábrica” significa específico de una planta de fabricación.

³² Puede encontrarse un ejemplo de método de prueba acreditado internacionalmente en la versión más reciente de las “Orientaciones para la caracterización ambiental de los equipos” (revisión 3.0 de febrero de 2000) de la Asociación de la Industria de los Semiconductores (2000).

³³ Condiciones centrales se refiere a las condiciones en que los fabricantes de equipos uniforman sus equipos para la venta. Es común que los fabricantes de semiconductores modifiquen esas condiciones para optimizar sus necesidades particulares.

- ii) La reducción de plasma sólo es aplicable a los instrumentos de grabado (menor o igual a 200 mm);
- iii) Los factores de emisión en la captación/recuperación (absorción criogénica y separación con membrana) son exclusivamente para la parte de captación del proceso; la eficacia de recuperación debe caracterizarse mejor;
- iv) El costo de propiedad y la aplicabilidad de las diversas tecnologías varían ampliamente;
- v) No se ha caracterizado la aplicabilidad de las diversas tecnologías a los procesos desde obleas de >200 mm.

Los valores presentados en el cuadro 3.15, “Factores de emisión por defecto para las emisiones de HFC, PFC y SF₆ procedentes de la fabricación de semiconductores”, son el promedio de todos los datos recibidos sobre cada tipo de tecnología y cada gas incorporado, redondeados por defecto al 10% siguiente (p.ej., un promedio de 98% se redondearía por defecto a 0,9). Los promedios se redondearon por defecto para reflejar que: i) la eficacia de los dispositivos de control de las emisiones varía según el gas para cuya destrucción están optimizados, y ii) la eficacia de los dispositivos de control de las emisiones sobre los nuevos instrumentos que procesan obleas más grandes (>200 mm) no está bien caracterizada. Un dispositivo de control de las emisiones que pueda destruir un 99% de un Cfl cuando está optimizado para destruir ese Cfl en determinado instrumento, puede destruir menos del 95% de ese Cfl cuando está optimizado para destruir otra sustancia o cuando se usa en un instrumento para el cual no ha sido diseñado.

Las tecnologías de control de las emisiones, aunque no están muy difundidas actualmente en la industria, se expanden rápidamente. Los factores de emisión por defecto en la tecnología de control que figuran en el cuadro 3.15, “Factores de emisión por defecto para las emisiones de HFC, PFC y SF₆ procedentes de la fabricación de semiconductores”, se basan en pruebas limitadas de los dispositivos de control en un subconjunto reducido de procesos e instrumentos. Se prevé que los resultados serán variables para los distintos instrumentos y tasas de flujo del gas. Además, las tecnologías de reducción individuales no son aplicables a todos los instrumentos o procesos que intervienen en las instalaciones de fabricación de semiconductores.

Factores de emisión de nivel 2c

Los factores en la tecnología de control de las emisiones enumerados para el nivel 2c se calcularon a partir de los datos recibidos de los proveedores de equipos, los proveedores de dispositivos de reducción y los fabricantes de semiconductores. Una vez más, los valores son el promedio de todos los datos recibidos para cada tipo de gas incorporado, redondeados por defecto al 10% siguiente. Cabe señalar que sólo se usaron en el cálculo de promedios datos de dispositivos de reducción específicamente diseñados para reducir los Cfl. Se recibieron datos de los dispositivos de reducción de la combustión (todos los cuales usaban algún tipo de combustible), dispositivos de reducción del plasma y dispositivos de reducción catalítica. Los factores de emisión por defecto en la tecnología de control de nivel 2c sólo deberían usarse para las tecnologías de control de las emisiones específicamente diseñadas e instaladas para reducir las emisiones de Cfl. Si las empresas usan cualquier otro tipo de dispositivo de reducción, como el tubo caliente, deberían suponer que su eficiencia de destrucción es de 0% en el método de nivel 2c. Se prevé que las tecnologías de control de las emisiones evolucionen con el tiempo, así que los factores de emisión deberían reevaluarse periódicamente.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad para esta industria consisten en datos sobre las ventas, compras o uso de gas. Para los métodos de nivel 2 se requieren más datos sobre compra de gas en las empresas o las plantas. Para el método de nivel 1, es preferible usar datos de compra de las empresas. Cuando no se cuenta con datos de compra, pueden obtenerse datos de ventas de los fabricantes o distribuidores de gas. Los datos de ventas sólo deberían incluir la parte de cada gas vendida a la industria de los semiconductores. Quizás sea necesario hacer supuestos acerca de esa parte si no hay datos disponibles de los fabricantes o distribuidores de gas.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

El uso del método del nivel 2a permitirá el inventario menos incierto y el método de nivel 1 es el más inseguro. Dada la limitada cantidad de plantas y la estrecha supervisión de los procesos de producción en las plantas, debería ser técnicamente viable recopilar datos para usarlos en los métodos de nivel 2b o nivel 2a. El método de nivel 1 tiene el mayor grado de incertidumbre. Los organismos encargados de los inventarios deberían pedir asesoramiento a la industria sobre las incertidumbres, usando los enfoques para obtener el dictamen de expertos que se resumen en el capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”.

EXHAUSTIVIDAD

En la mayoría de los países debería ser posible conseguir una contabilidad completa de las emisiones procedentes de la industria de los semiconductores, porque hay una cantidad limitada de empresas y plantas. Debería prestarse atención a cuatro cuestiones relativas a la exhaustividad:

- **Otros subproductos:** Como resultado del uso de Cfl en la limpieza de cámaras y en el grabado, se generan varios subproductos de la transformación. Pero se supone que las concentraciones de subproductos de Cfl, con excepción del CF_4 , son de menor importancia. Los organismos encargados de los inventarios deberían reevaluar este supuesto si la industria adopta nuevos gases.
- **Nuevos productos químicos:** En el futuro, se planteará la cuestión de la exhaustividad a medida que la industria evalúe y adopte nuevos procesos químicos para mejorar sus productos. Los esfuerzos en toda la industria para reducir las emisiones de Cfl también están acelerando el examen de nuevos productos químicos. En consecuencia, es una *buena práctica* que esta industria incorpore un mecanismo que tenga en cuenta los gases de efecto invernadero no enumerados en el Segundo informe de evaluación del IPCC (p.ej., NF_3 , C_5F_8 , HFE). Los nuevos gases pueden producir también subproductos de alto PCA.
- **Otras fuentes:** Se puede descargar una pequeña cantidad de Cfls durante la manipulación del gas (p.ej., en la distribución) y en fuentes como las plantas a escala de investigación y desarrollo (p.ej., universitarias) y los proveedores de instrumentos. Se cree que esas emisiones no son importantes (p.ej., menos del 1% de las emisiones totales de la industria).
- **Otros productos o procesos:** Se ha identificado el uso de Cfls en la industria electrónica en aplicaciones emisoras, entre ellas: la fabricación de pantallas planas³⁴ y las pruebas de fiabilidad de unidades de disco rígido (líquidos inertes), refrigerante³⁵ (refrigerante evaporador directo para aparatos eléctricos y electrónicos y refrigerantes indirectos en circuito cerrado de aparatos eléctricos y electrónicos), soldadura por convección (“reflow”) en fase de vapor y limpieza de precisión³⁶.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

El uso de los Cfls por la industria de los semiconductores se inició a fines de los años setenta y se aceleró considerablemente a principios de los noventa. Puede presentar dificultades la determinación de las emisiones en un año base, porque se dispone de pocos datos sobre las emisiones que se producían antes de 1995. Si las estimaciones históricas de las emisiones se basaran en simples supuestos (p.ej., que el uso es igual a las emisiones), esas estimaciones podrían mejorarse aplicando los métodos que se han descrito antes. Si no hay datos históricos disponibles que permitan usar un método de nivel 2, puede utilizarse retrospectivamente el método de nivel 1 usando parámetros de emisión por defecto. Entonces podrían aplicarse simultáneamente métodos de nivel 1 y de nivel 2 para los años en que se cuente con más datos, para ofrecer una comparación o referencia. Esto debería hacerse de conformidad con la orientación suministrada en la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Para asegurar un registro coherente de las emisiones a través del tiempo, un organismo encargado del inventario debería recalcular las emisiones de Cfls para todos los años en que se han presentado datos, cuando cambien los procedimientos de cálculo de las emisiones (p.ej., si un organismo encargado del inventario pasa de usar valores por defecto a valores reales determinados en las plantas). Si no se cuenta con datos específicos de las plantas para todos los años de la serie temporal, el organismo encargado del inventario deberá considerar cómo pueden usarse los datos actuales de las plantas para volver a calcular las emisiones para esos años. Quizás sea posible aplicar los parámetros de emisión actuales específicos de las plantas a los datos de ventas de años anteriores, siempre que no hayan cambiado sustancialmente las operaciones en las plantas. Se requiere ese nuevo cálculo para asegurar que todo cambio en las tendencias de las emisiones es real y no producto de los cambios de procedimiento.

³⁴ Las emisiones procedentes de la fabricación de pantallas planas (transistor de película fina (TFT) de cristal líquido) pueden estimarse usando métodos semejantes a los usados en la fabricación de semiconductores. Se requieren factores de emisión y reducción específicos de cada empresa. También se usan cantidades muy reducidas en la fabricación de máquinas microelectrónicas (MEM) y en laboratorios e instalaciones de fabricación y de investigación y desarrollo.

³⁵ Las emisiones procedentes de las “pruebas de fiabilidad de unidades de disco rígido” y los “refrigerantes” se tratarán en la sección 3.7.6, “Subcategoría de fuentes de otras aplicaciones”.

³⁶ Las emisiones procedentes de la limpieza de precisión se tratarán en la sección 3.7.2, “Subcategoría de fuentes de los solventes”.

3.6.2 Presentación de datos y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir estimaciones para el inventario nacional de emisiones, como se expone en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. No es práctico incluir toda la documentación en el informe del inventario nacional. Pero el inventario debería contener resúmenes de los métodos usados y referencias a los datos de las fuentes, de modo que las estimaciones de las emisiones presentadas sean transparentes y puedan rastrearse las etapas que se han seguido para calcularlas.

La presentación explícita de datos sobre las emisiones en esta industria mejoraría la transparencia y comparabilidad de las emisiones. Por ejemplo, en el cuadro 2F de los cuadros de presentación de datos del IPCC debería añadirse una línea más para las emisiones procedentes de la fabricación de semiconductores. Como esta industria emite varios gases de Cfls, la presentación de datos para cada especie de gas y no por tipo de producto químico mejoraría también la transparencia y utilidad de los datos. En los esfuerzos por aumentar la transparencia se debería tener en cuenta la protección de la información confidencial de negocios relativa al uso de cada gas específico. En los países en que hay tres o más fabricantes, debería protegerse esa información agregando los datos sobre las emisiones de cada gas para todo el país. En el cuadro 3.16, “Información necesaria para la plena transparencia de las estimaciones de las emisiones procedentes de la fabricación de semiconductores”, se muestra la información básica necesaria para la plena transparencia en las estimaciones de las emisiones presentadas.

La *buena práctica* para el nivel 2a es documentar la formulación de factores de emisión específicos de las empresas y explicar las desviaciones con respecto a los valores generales por defecto. En razón de la inquietud por la confidencialidad, sería conveniente que los organismos encargados de los inventarios agreguen esta información acerca de todos los fabricantes. En los casos en que distintos fabricantes en un país han presentado diferentes factores de emisión o de conversión para un Cfl y un proceso o tipo de proceso dados, los organismos encargados de los inventarios pueden indicar el rango de los factores de los HFE presentados y usados.

Hasta que se adopte decisión sobre la manipulación de NF_3 , C_3F_8 , y otros gases de Cfl, las emisiones deberían presentarse por separado y no incluirse en los cálculos de las emisiones totales.

CUADRO 3.16				
INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA PLENA TRANSPARENCIA DE LAS ESTIMACIONES DE LAS EMISIONES PROCEDENTES DE LA FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES				
Datos	Nivel 1	Nivel 2c	Nivel 2b	Nivel 2a
Emisiones de cada Cfl (y no como agregado para todos los Cfl)	X	X	X	X
Ventas/compras de cada Cfl	X	X		
Masa de cada Cfl usado en cada proceso o tipo de proceso			X	X
Fracción de cada Cfl usado en procesos con tecnologías de control de las emisiones		X	X	X
Tasa de uso de cada Cfl para cada proceso o tipo de proceso (Esta información y la siguiente sólo son necesarias si no se usa un valor por defecto)				X
Fracción de cada Cfl transformado en CF ₄ para cada proceso o tipo de proceso				X
Fracción de gas que queda en el recipiente de expedición				X
Fracción de cada Cfl destruido por la tecnología de control de las emisiones				X
Fracción de cada subproducto del CF ₄ destruido por la tecnología de control de las emisiones				X

3.6.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buena práctica* realizar exámenes de control de calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. En el capítulo 8 se resumen otros exámenes de control de calidad y también pueden ser aplicables procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

También se incluye en el capítulo 8 más orientación general sobre procedimientos de GC/CC de nivel superior. Debido al carácter sumamente competitivo de la industria de los semiconductores, deberían incorporarse al proceso de verificación disposiciones sobre el manejo de la información de negocios confidencial. Deberían documentarse los métodos usados y debería pensarse en una auditoría periódica de la medición y el cálculo de los datos. También debería considerarse una auditoría de GC de los procesos y los procedimientos.

3.7 EMISIONES DE SUSTITUTOS DE LAS SUSTANCIAS DESTRUCTORAS DEL OZONO (SUSTITUTOS DE SDO)

3.7.1 Panorama general (3.7.1 a 3.7.7)

En este capítulo se ofrece *orientación sobre buenas prácticas* acerca de siete fuentes de emisiones de sustitutos de sustancias destructoras del ozono (SDO). Cada uno de los usos siguientes se examina en una sección separada:

- Aerosoles e inhaladores de dosis medida;
- Usos de solvente;
- Espumas;
- Refrigeración fija;
- Climatización móvil;
- Protección contra incendios;
- Otras aplicaciones.

3.7.2 Cuestiones metodológicas generales para todas las subcategorías de fuentes de sustitutos de SDO

ELECCIÓN DEL MÉTODO

En las *Directrices del IPCC* se describen dos niveles para estimar las emisiones procedentes del uso de sustitutos de SDO: el método avanzado o real (nivel 2) y el método “básico” o “potencial” (nivel 1)³⁷. En el método real (nivel 2) se tiene en cuenta el lapso transcurrido entre el consumo y las emisiones de los sustitutos de SDO, mientras que en el método potencial se supone que las emisiones ocurren durante el año en que se produce o se vende el producto químico en un sector determinado de usuarios finales.

Si bien el método de nivel 1 requiere menos datos, puede producir estimaciones muy inexactas en el corto plazo, porque en muchas fuentes de larga vida útil, como los refrigeradores, los productos químicos se emiten por un período de varios años. Cuanto mayor es el lapso durante el cual se descarga el producto químico, más grande es la posible inexactitud del método “potencial”. Si, como ocurre en la mayoría de los países, las ventas de equipos aumentan cada año, también debe aumentar la cantidad total de productos químicos almacenados en equipos de usuarios finales. Por lo tanto, es probable que el método potencial exagere las emisiones.

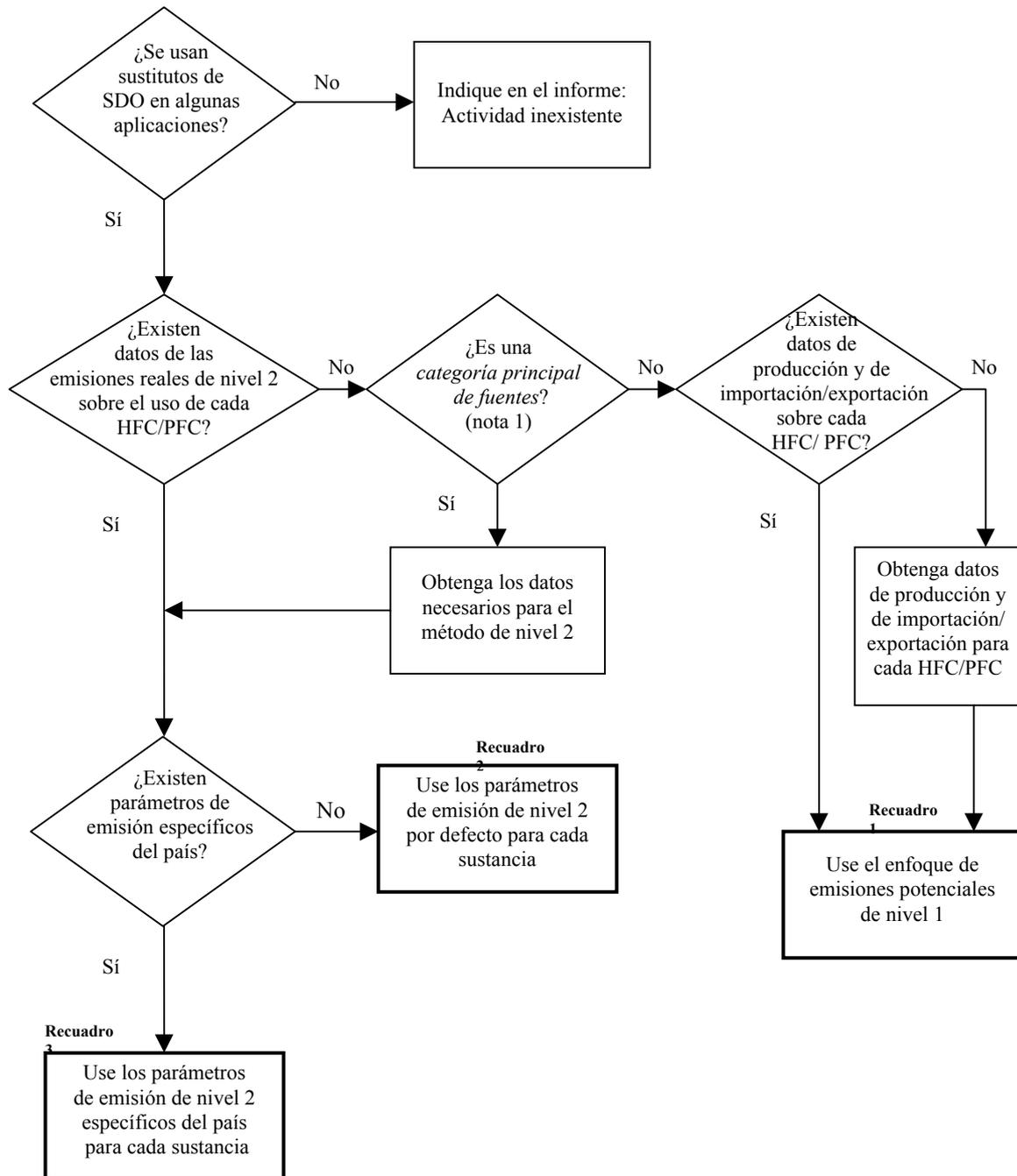
La *buen práctica* consiste en usar el método real de nivel 2 para todas las subcategorías de fuentes comprendidas en esta categoría de fuentes. La coherencia exige que los organismos encargados de los inventarios realicen todos los esfuerzos posibles por aplicar metodologías reales en todo el espectro de fuentes de emisión de sustitutos de SDO. Si un organismo encargado del inventario no puede aplicar métodos reales para todas las subcategorías de fuentes, es una *buen práctica* calcular y presentar estimaciones potenciales para todas las subcategorías de fuentes, con el fin de permitir la adición del total de emisiones. *El organismo encargado del inventario no debería sumar las estimaciones reales de las emisiones con las potenciales.*

En el árbol de decisiones general de la figura 3.11, “Árbol de decisiones general para todos los sustitutos de sustancias destructoras del ozono”, se describe la *buen práctica* al elegir entre métodos de nivel 2 y de nivel 1 para cada usuario final en las siete subsecciones siguientes. La *buen práctica* consiste en usar el método de nivel 2 para las subcategorías de fuentes identificadas como “*subcategorías principales de fuentes*”, tal como se expone en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”. Esta determinación se

³⁷ La Conferencia de las Partes en la CMCC, en su tercera reunión, afirmó “... que deberían estimarse las emisiones reales de hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, cuando se disponga de datos, y las mismas deberían usarse para presentar datos de las emisiones. Las Partes deberían realizar todos los esfuerzos posibles para elaborar las fuentes de datos necesarias”. (Decisión 2/CP.3, “Aspectos metodológicos relacionadas con el Protocolo de Kyoto”)

adopta para las categorías de fuentes del IPCC (en este caso, los “Sustitutos de SDO”) y no para las subcategorías de fuentes del IPCC.

Figura 3.11 Árbol de decisiones general para todos los sustitutos de sustancias destructoras del ozono



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema de inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país, en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las categorías principales de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.)

La *orientación sobre buenas prácticas* en esta sección se refiere a las variaciones del método de nivel 2, más que a la aplicación del método potencial. En cada subsección se examina cómo aplicar esos métodos a subcategorías de fuentes específicas de SDO, se revisan las fuentes de datos existentes y se identifican las lagunas en las mismas. Para obtener más orientación sobre la aplicación del método de nivel 1, los países pueden remitirse a la sección 2.17.3 de las *Directrices del IPCC*, Vol. 3.

En general, es una *buena práctica* elaborar datos apropiados del país para el método de nivel 2 cuando las emisiones procedentes de categorías de fuentes de sustitutos de SDO son un componente importante del inventario nacional. Esto puede exigir un modelo específico para el país. Se incluyen árboles de decisiones más detallados para cada subcategoría de fuentes como ayuda para una mayor identificación de las necesidades y la selección de datos para el enfoque de nivel 2.

Los organismos encargados de los inventarios que apliquen el método de nivel 2 tendrán que determinar si utilizarán enfoques de abajo a arriba o de arriba a abajo. En el enfoque de abajo a arriba se tiene en cuenta explícitamente el lapso transcurrido entre el consumo y las emisiones, mediante los factores de emisión. En el enfoque de arriba a abajo se tiene en cuenta implícitamente el lapso transcurrido, al rastrear la cantidad de productos químicos vírgenes consumidos en un año dado que se usan para sustituir las sustancias químicas emitidas en la atmósfera.

Nivel 2a – Enfoque de abajo a arriba

El método de abajo a arriba se basa en la cantidad de productos y usuarios finales cuando se consumen y emiten sustitutos de SDO. En este enfoque se estima la cantidad de unidades de equipo que usan esos productos químicos, las cargas medias de tales productos, la duración media de servicio, las tasas de emisión, el reciclaje, la eliminación y otros parámetros pertinentes. Luego se estiman las emisiones anuales como función de esos parámetros a través de la vida útil de las unidades. Como la cantidad de productos químicos empleados, la duración de servicio y las tasas de emisión varían considerablemente entre los distintos equipos, la caracterización de estos equipos puede resultar una tarea que insuma muchos recursos. Cuanto mayor duración tengan los equipos de los usuarios finales y más diversos sean los tipos de equipo dentro de una aplicación determinada, más complejo tendrá que ser el enfoque de abajo a arriba para contabilizar las emisiones³⁸. El enfoque de abajo a arriba puede ofrecer una estimación exacta de las emisiones si los datos que requiere la siguiente ecuación están disponibles para todos los tipos y años de fabricación pertinentes de los equipos:

ECUACIÓN 3.33

$$\text{Emisiones totales de cada PFC o HFC} = \text{Emisiones en el montaje del equipo} + \text{Emisiones en el funcionamiento del equipo} + \text{Emisiones en la eliminación del equipo}$$

Las *emisiones en el montaje* se producen como fugas cuando el equipo se llena o se recarga con un producto químico. También se producen emisiones de los equipos como escapes o descargas intencionales durante el *funcionamiento*. Por último, cuando concluye la vida útil del equipo y éste se *elimina*, la carga que queda de HFC/PFC se descarga en la atmósfera, se recicla o tal vez se destruye.

La necesidad de actualizar anualmente los inventarios de equipos puede ser un gran desafío en la aplicación para los organismos encargados de los inventarios con recursos limitados. Con todo, el método de abajo a arriba no requiere datos del consumo de productos químicos, aunque podrían usarse como examen de garantía de la calidad si están disponibles.

Nivel 2b – Enfoque de arriba a abajo

En el enfoque de arriba a abajo también se estiman las emisiones procedentes del montaje, el funcionamiento y la eliminación, pero no se basan en factores de emisión. El método emplea, en cambio, el consumo medido (o sea, las ventas) de cada producto químico en el país o la instalación que se está tratando. Ésta es la ecuación general³⁹:

³⁸ Dado que hay una veintena de productos químicos HFC y PFC que podrían usarse potencialmente como sustitutos de sustancias destructoras del ozono y que las fuentes de emisiones son numerosas y sumamente diversificadas, la aplicación del método de abajo a arriba supone el manejo de grandes volúmenes de datos con alto grado de complejidad.

³⁹ Condiciones límite: si no hay un cambio neto en la carga total del equipo, las ventas anuales son equivalentes a las emisiones. Si el cambio neto en la carga total del equipo es igual a las ventas anuales, las emisiones son cero.

ECUACIÓN 3.34

$$\text{Emisiones} = \text{Ventas anuales de nuevo gas} - (\text{Carga total del nuevo equipo} - \text{Carga total original del equipo que se retira})$$

La industria adquiere nuevos productos químicos a los fabricantes para sustituir las fugas (o sea, las emisiones) de gas almacenado en los equipos actuales o para introducir un cambio neto en el volumen de carga total almacenada en los equipos⁴⁰. La carga total de los nuevos equipos menos la carga total original de los equipos que se retiran representa el cambio neto en la carga almacenada en los equipos. Cuando el cambio neto es positivo, algunos de los nuevos productos químicos se usan para satisfacer el aumento en la carga total y por lo tanto no puede decirse que sustituyen emisiones del año anterior.

Usando este enfoque, *no* es necesario saber la cantidad total de cada producto químico almacenado en equipos para calcular sus emisiones. Sólo se necesita conocer las cargas totales del equipo nuevo y del que se retira. Este enfoque es aplicable más directamente a las subcategorías de fuentes de la refrigeración y la climatización móvil, y de la protección contra incendios. Se ofrecen más detalles y modificaciones de este enfoque en la descripción de cada subcategoría de fuentes. Además, se están elaborando modelos en que se asignan las ventas de productos químicos para diferentes usos finales a diferentes regiones del mundo. Esos modelos se derivan actualmente para usos finales de determinados sustitutos de SDO, como las espumas y la protección contra incendios⁴¹.

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

El tipo de factor de emisión requerido depende del enfoque de nivel 2 que se aplique.

Nivel 2a – Enfoque de abajo a arriba

Para el enfoque de abajo a arriba, se requieren factores de emisión específicos, con el fin de estimar las tasas de emisión de los principales tipos de equipos y sectores. Los factores de emisión deberían basarse en un estudio específico para cada país de las unidades de equipo existentes, con el fin de determinar la duración de servicio que les queda, sus cargas medias, las tasas de readaptación, las tasas de fugas, las cantidades eliminadas y las prácticas de recuperación. Las *Directrices del IPCC* contienen valores por defecto para algunos de esos parámetros, pero no son específicos para cada país. La *orientación sobre buenas prácticas* ofrece más valores por defecto para algunas subcategorías de fuentes.

Un tema común es que la gestión de la eliminación de los equipos al final de su duración de servicio puede ejercer un efecto profundo sobre las emisiones totales. Los productos químicos que quedan en los sistemas (lo que se llama el “banco”) pueden ser de hasta el 90% de la cantidad original utilizada. Se examinan algunas cuestiones específicas relativas a los factores de emisión en las secciones de las distintas subcategorías de fuentes.

Nivel 2b – Enfoque de arriba a abajo

Como ya se ha expuesto, el enfoque de arriba a abajo se basa generalmente en los datos de venta de productos químicos y no se utilizan factores de emisión basados en los equipos. Cuando hay excepciones a esta regla, se ofrece *orientación sobre buenas prácticas* en cada sección de subcategorías de fuentes (p.ej., las emisiones fugitivas durante la carga de equipos con HFC y PFC).

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD**Nivel 2a – Enfoque de abajo a arriba**

El enfoque de abajo a arriba requiere un inventario de los HFC/PFC existentes en las unidades existentes (o sea, el “banco”). Algunos organismos encargados del inventario pueden tener acceso a datos nacionales publicados en revistas comerciales o informes técnicos. Pero lo más probable es que sea necesario un estudio para estimar el inventario de unidades o productos químicos existentes. Los grupos de expertos pueden facilitar también la generación de esta información. Los organismos encargados del inventario pueden decidir asimismo realizar

⁴⁰ La industria requiere también nuevos productos químicos para sustituir el gas destruido y como reservas. Pueden añadirse términos a la ecuación general para tener en cuenta esos usos; esos términos no se incluyen aquí para simplificar el asunto.

⁴¹ Por ejemplo, véase www.greenhousegases.org.

estudios anuales para actualizar sus inventarios de las unidades del sector. Como alternativa, se puede calcular o estimar el aumento de la producción en cada una de las subcategorías de fuentes que se consideran. En los datos deben reflejarse las nuevas unidades que se introducen cada año y las unidades antiguas o de funcionamiento defectuoso que se retiran.

Nivel 2b – Enfoque de arriba a abajo

Los datos de actividad para el enfoque de arriba a abajo se concentran en la distribución de los productos químicos más que en las fuentes de las emisiones. Para algunos usos finales, como la protección contra incendios y las espumas, se están elaborando modelos mundiales que asignan los datos de producción conocidos con exactitud a usos finales en regiones específicas. Los datos de actividad de estos modelos serán particularmente útiles para los países con considerables importaciones de productos químicos y equipos.

Para el enfoque basado en las ventas, los datos sobre el uso nacional de productos químicos se obtienen más fácilmente que los datos para el inventario nacional de los equipos responsables de las emisiones. Es una *buena práctica* obtener datos sobre las ventas totales anuales de los fabricantes o importadores de gas⁴². Probablemente, la mejor fuente de datos sobre la carga total de los nuevos equipos sean los fabricantes de equipos o las asociaciones comerciales que los representan. Para la carga total de los equipos que se retiran, se debe conocer o estimar: i) la antigüedad del equipo, y ii) o bien a) las ventas históricas de equipos y el volumen de carga medio histórico del equipo, o bien b) la tasa de crecimiento de esas ventas y volúmenes de carga.

Es probable que los organismos encargados de los inventarios en países que importan todos los nuevos productos químicos consumidos o la mayoría de los mismos tropiecen con cuestiones sobre disponibilidad de los datos diferentes de las que se presentan en los países con una importante producción interna de sustancias químicas. Si la mayoría de los productos químicos son importados, a granel o en equipos y productos, será necesario algún tipo de datos de importación para calcular las emisiones. Idealmente, los funcionarios de aduanas deberían rastrear y dar a conocer estadísticas sobre la importación de productos químicos. Para algunos productos, como las espumas y los aerosoles, tal vez los funcionarios de aduanas no puedan rastrear el tipo de sustancia contenida en el producto (p.ej., los CFC o HFC en los aerosoles) o la presencia del producto en los equipos importados (p.ej., la espuma de poro cerrado en los asientos de automotores). En tales casos, quizás sea necesario recopilar o estimar los datos con asistencia de los principales distribuidores y usuarios finales.

EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad, en términos de la cantidad total de productos químicos que podrían emitirse potencialmente, está cubierta por el hecho de que los datos de actividad para el enfoque de arriba a abajo se registran en términos de la cantidad de productos químicos usados. La exhaustividad es una cuestión importante para los países que usan el método de nivel 2 de abajo a arriba basado en los equipos.

Una fracción de la producción de nuevas sustancias químicas se descarga en la atmósfera durante la producción de cada sustancia. Las emisiones fugitivas de la producción no se tienen en cuenta en ninguno de los métodos de nivel 2 (ni en el método de nivel 1). Es una *buena práctica* que los organismos encargados del inventario en países con producción interna de productos químicos incluyan en sus inventarios las emisiones fugitivas. El enfoque que se sugiere es aplicar un factor de emisión a la producción química o suponer que se emitió durante la producción un porcentaje fijo (adicional) de las ventas de productos químicos. Aunque el factor por defecto es de 0,5%, la experiencia en Japón muestra emisiones muy superiores⁴³. Es una *buena práctica* determinar el factor de emisión real para cada planta.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Se alienta a los organismos encargados de los inventarios que han preparado en el pasado estimaciones potenciales (nivel 1) a desarrollar la capacidad de preparar estimaciones de nivel 2 en el futuro. Es una *buena práctica* que no se incluyan estimaciones reales y potenciales en una misma serie temporal y que los organismos encargados de los inventarios vuelvan a calcular las emisiones históricas con el método real, si cambian de enfoque. En el caso de que no se consigan datos, los dos métodos deberían conciliarse para asegurar la coherencia, siguiendo las orientaciones sobre nuevos cálculos suministradas en la sección 7.3.2.2, “Otras

⁴² En el método de nivel 1b de las *Directrices del IPCC*, Vol. 3, sección 2.17.3.3, se presenta el método por defecto para los datos de ventas anuales.

⁴³ Fuente: Sexta reunión del Comité para la prevención del calentamiento de la atmósfera y el Consejo de Productos Químicos de Japón, 21 de mayo de 1999.

técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”. Es una *buena práctica* documentar plenamente los nuevos cálculos, para asegurar la transparencia.

Los factores de emisión proceden generalmente de datos históricos sobre otros productos químicos (p.ej., los CFC) usados en mercados establecidos y es necesario adaptarlos a las nuevas sustancias químicas (p.ej., los sustitutos de SDO) en mercados incipientes. Ahora se cuenta con datos nacionales sobre distribución en el año base (o puede calcularse con una incertidumbre conocida).

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

A largo plazo (más de 20 años), las emisiones de sustitutos de SDO en un país tenderán a igualar el consumo total en el mismo marco temporal. Para un año dado, es muy difícil estimar la cuantificación de la incertidumbre para las SDO, debido a la gran cantidad de fuentes diferentes y a la diversidad de las pautas de emisión. En el método de nivel 2 de arriba a abajo, la incertidumbre general estará directamente vinculada a la calidad y exhaustividad de los datos de ventas e importación de productos químicos. En el método de nivel 2 de abajo a arriba, la incertidumbre reflejará la exhaustividad de la encuesta de equipos y la propiedad de las funciones de emisión elaboradas para caracterizar las emisiones. Se brinda más asesoramiento sobre las incertidumbres en las secciones separadas de las siete subcategorías de fuentes que siguen.

3.7.3 Presentación de datos y documentación para todas las subcategorías de fuentes de sustitutos de SDO

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir estimaciones destinadas a los inventarios nacionales de emisiones, como se expone en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”.

Como ya se ha expuesto, los organismos encargados de los inventarios deberían preparar y presentar estimaciones reales de las emisiones para la mayor cantidad posible de subcategorías de fuentes de uso final. Para las subcategorías de fuentes en que no es posible preparar estimaciones reales de las emisiones, los organismos encargados de los inventarios deberían preparar y presentar estimaciones potenciales de las emisiones. Los organismos encargados de los inventarios que presenten un enfoque híbrido real/potencial deberían incluir un conjunto de estimaciones potenciales para cada subcategoría de fuentes, de modo que puedan calcularse las emisiones totales de los sustitutos de SDO. Como ya se ha señalado, no deberían sumarse las estimaciones reales y las potenciales.

Es necesario tratar con cautela el equilibrio entre preservación de la confidencialidad y transparencia de los datos. Una cuidadosa agregación puede resolver algunos problemas, pero requerirá que los resultados se validen por otros medios (p.ej., auditoría por terceros). Cuando se han agregado datos para preservar la confidencialidad de la información exclusiva, deberían aportarse explicaciones cualitativas para indicar el método y el enfoque aplicados para la agregación.

3.7.4 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios para todas las subcategorías de fuentes de sustitutos de SDO

Es una *buena práctica* realizar exámenes de control de calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad, como se expone en el capítulo 8, y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de estas categorías de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”. Además de la orientación que figura en el capítulo 8, se resumen a continuación procedimientos específicos importantes para esta categoría de fuentes.

Comparación de las estimaciones de las emisiones usando diferentes enfoques

Los organismos encargados de los inventarios deberían usar el método de emisiones potenciales de nivel 1 para examinar las estimaciones reales de nivel 2. Quizás los organismos encargados de los inventarios puedan considerar la elaboración de modelos de contabilidad que puedan conciliar las estimaciones potenciales y las reales de las emisiones y puedan mejorar la determinación de los factores de emisión a través del tiempo.

Los organismos encargados de los inventarios deberían comparar las estimaciones de abajo a arriba con el enfoque de nivel 2 de arriba a abajo, ya que los factores de emisión de abajo a arriba están asociados con el mayor grado de incertidumbre. Esta técnica minimizará también la posibilidad de que no se tengan en cuenta algunos usos finales en el enfoque de abajo a arriba.

Examen de los datos de actividad nacionales

En el método de nivel 2a (de abajo a arriba), los organismos encargados de los inventarios deberían evaluar los procedimientos de GC/CC asociados con la estimación de los inventarios de equipos y productos, para asegurarse de que se respeten los procedimientos generales esbozados en el plan de GC/CC y de que se usen procedimientos de muestreo representativo. Esto es particularmente importante para los subsectores de sustitutos de SDO, debido a las grandes poblaciones de equipos y productos.

En el método de nivel 2b (de arriba a abajo), los organismos encargados de los inventarios deberían evaluar y hacer referencia a los procedimientos de GC/CC aplicados por las organizaciones responsables de producir información sobre la distribución de las sustancias químicas. Los datos sobre ventas pueden proceder de los fabricantes, importadores, distribuidores o asociaciones comerciales vinculados con los gases. Si no es suficiente el CC asociado con los datos secundarios, el organismo encargado del inventario debería establecer sus propios exámenes de CC sobre los datos secundarios, reevaluar la incertidumbre de las estimaciones de las emisiones derivadas de esos datos y reconsiderar cómo se usan los datos.

Examen de los factores de emisión

Los factores de emisión usados para el método de nivel 2a (de abajo a arriba) deberían basarse en estudios específicos de cada país. Los organismos encargados de los inventarios deberían comparar esos factores con los valores por defecto. Deberían determinar si los valores específicos del país son razonables, dadas las semejanzas o diferencias entre la categoría nacional de fuentes y la fuente representada por los valores por defecto. Toda diferencia entre los factores específicos del país y los factores por defecto debería explicarse y documentarse.

3.7.5 Subcategoría de fuentes de los aerosoles

3.7.5.1 Aspectos metodológicos

La mayoría de los envases de aerosol contienen hidrocarburos (HC) como propulsores, pero en una reducida fracción del total, pueden usarse HFC y PFC como propulsores o solventes. Las emisiones procedentes de los aerosoles ocurren generalmente poco después de la producción, en promedio seis meses después de la venta. Durante la utilización de aerosoles, se emite el 100% de la sustancia química (Gamlen *et al.*, 1986, USA EPA, 1992a). Las 5 fuentes principales son las siguientes:

- i) Inhaladores de dosis medida (IDM);
- ii) Productos de aseo personal (p.ej., cuidado del cabello, desodorantes, crema de afeitarse);
- iii) Productos domésticos (p.ej., desodorantes de ambiente, limpiacristales y quitamanchas);
- iv) Productos industriales (p.ej., rociadores especiales de limpieza, lubricantes, congeladores de cañerías);
- v) Otros productos generales (p.ej., serpentina gelatinosa, infladores de neumáticos, claxones).

Los HFC usados corrientemente como propulsores son el HFC-134a, el HFC-227ea y el HFC-152a. La sustancia HFC-43-10mee y un PFC, el perfluorohexano, se usan como solventes en productos industriales en aerosol ⁴⁴.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Las emisiones de aerosoles se consideran “rápidas”, porque toda la carga inicial se fuga en el primer año o dos después de la venta. Por lo tanto, para estimar las emisiones es necesario conocer la cantidad total de aerosol cargada inicialmente en los recipientes del producto antes de la venta. Las emisiones de cada aerosol individual en el año t pueden calcularse según las *Directrices del IPCC* del modo siguiente:

ECUACIÓN 3.35

$$\text{Emisiones de HFC en el año } t = [(\text{Cantidad de HFC y PFC contenida en los productos en aerosol vendidos en el año } t) \cdot (\text{FE})] + [(\text{Cantidad de HFC y PFC contenida en los productos en aerosol vendidos en el año } (t - 1)) \cdot (1 - \text{FE})]$$

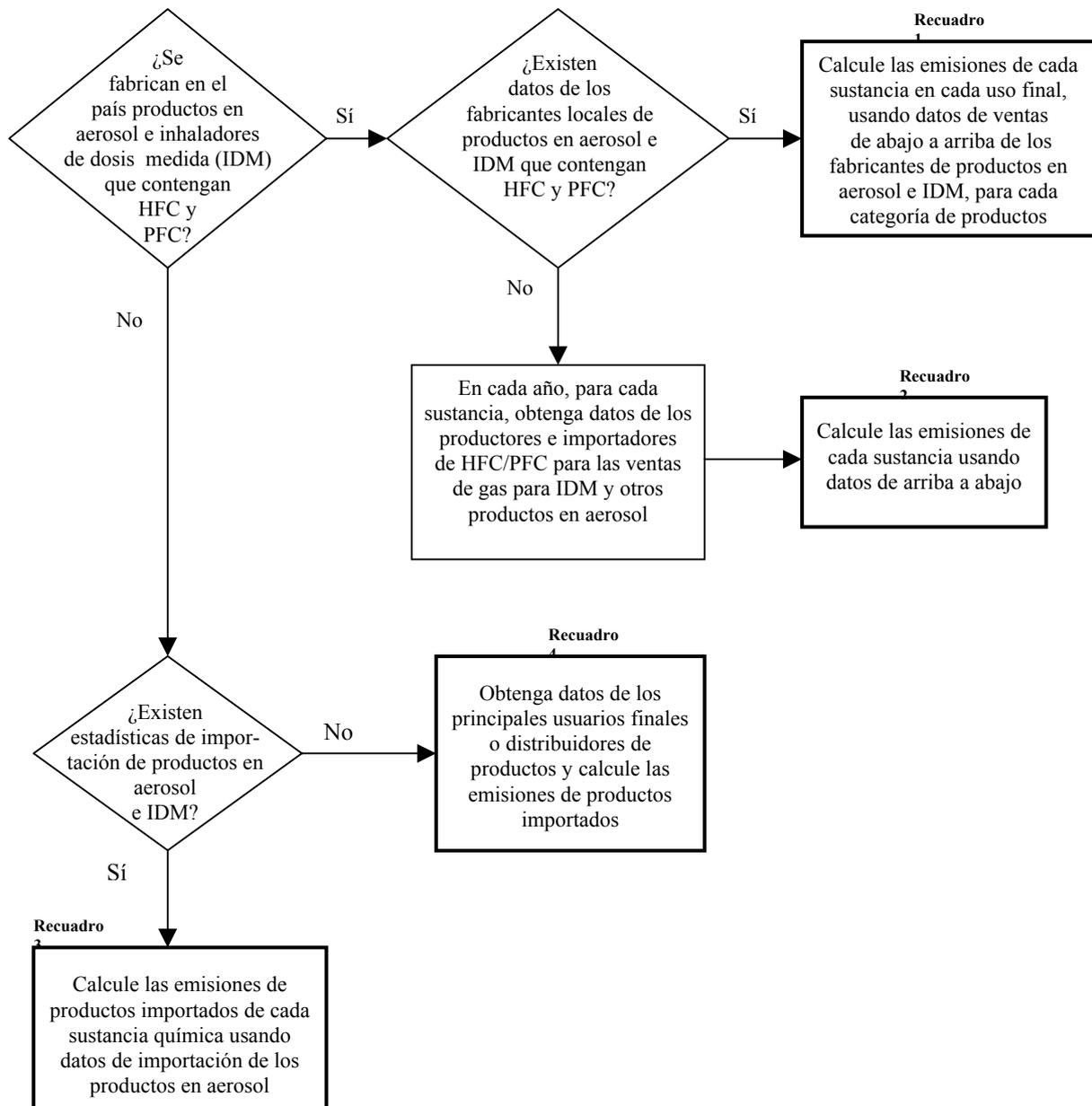
Esta ecuación debería aplicarse individualmente a cada producto químico. Las emisiones totales de equivalente de carbono son iguales a la suma de las emisiones de equivalente de carbono de cada producto químico.

Como se supone que la vida útil del producto es de dos años, toda cantidad no emitida durante el primer año debe emitirse por definición durante el segundo y último año. En realidad, la mayoría de las emisiones ocurren dentro del primer año de compra del producto, pero en este cálculo se tiene en cuenta el lapso transcurrido desde la fecha de compra hasta la fecha de uso⁴⁵. Se incluye un árbol de decisiones para estimar las emisiones reales en la figura 3.12, “Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de los aerosoles”. A continuación se describe el proceso de recopilación de datos.

⁴⁴ El HFC-43-10mee se usa sólo como solvente, pero se computa como aerosol cuando se entrega en envases de aerosol.

⁴⁵ Para las fuentes de corto plazo, como los IDM y los productos en aerosol, la estimación de las emisiones potenciales es equivalente a usar un factor de emisión del 100%. Esto producirá un resultado semejante al enfoque real si no hay ningún aumento sustancial en las ventas de aerosoles.

Figura 3.12 Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de los aerosoles



ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Es una *buena práctica* usar un factor de emisión por defecto del 50% de la carga inicial por año para el amplio espectro de los productos en aerosol. Esto significa que la mitad de la carga de productos químicos se fuga dentro del primer año y la carga restante se fuga durante el segundo año (Gamlen *et al.*, 1986). Los organismos encargados de los inventarios deberían usar otros factores de emisión alternativos sólo cuando se disponga de evidencias empíricas para la mayoría de los productos en aerosol. En todo caso, el porcentaje de los factores de emisión debería sumar en general hasta el 100% por todo el tiempo durante el cual se supone que se fugará la carga. Debería documentarse minuciosamente la elaboración de los factores de emisión específicos para cada país. Quizás los fabricantes de aerosoles en general y de IDM puedan aportar datos sobre las pérdidas en los procesos.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad que se requieren son la cantidad total de cada sustancia química pertinente contenida en todos los productos en aerosol consumidos en un país (tanto de ventas interiores como de importaciones). En los países que importan el 100% de los productos en aerosol, los datos de actividad son iguales a las importaciones.

Los datos de actividad para esta subcategoría de fuentes de uso final pueden recopilarse usando enfoques de abajo a arriba o de arriba a abajo, según la disponibilidad y calidad de los datos. El enfoque de abajo a arriba requiere datos sobre la cantidad de productos en aerosol vendidos e importados (p.ej., la cantidad de inhaladores individuales de dosis medida, los productos de cuidado del cabello y los infladores de neumáticos) y la carga media por recipiente. En el enfoque de arriba a abajo deben recabarse datos sobre las ventas de productos químicos en aerosol y de IDM directamente a sus fabricantes. En muchos casos, puede ser necesaria una combinación de datos de abajo a arriba y de arriba a abajo.

Producción nacional de aerosoles: En los países con producción nacional, los fabricantes de aerosoles en general y de IDM pueden aportar datos sobre la cantidad de productos en aerosol fabricados para el consumo interno, la cantidad de aerosoles exportados, la carga media por aerosol y el tipo de propulsor o de solvente utilizado (o sea, cuál de los HFC/PFC). Luego puede calcularse el uso total de productos en aerosol fabricados en el país cada año a partir de la cantidad de productos en aerosol vendidos en el interior en un año dado multiplicada por la carga de HFC/PFC en cada producto. Si no se cuenta con datos de abajo a arriba, los productores nacionales de sustancias químicas pueden suministrar datos sobre la cantidad de HFC vendidos a los fabricantes nacionales en los inhaladores de dosis medida y agregar los datos de venta a los productores de otros aerosoles (categorías 2, 3, 4 y 5 antes citadas). Si los fabricantes nacionales de aerosoles y de IDM importan los HFC, también puede solicitarse información a los exportadores de productos químicos, aunque quizás no puedan proporcionar datos sobre las exportaciones destinadas a países individuales por cuestiones de confidencialidad comercial. Otra fuente posible de datos básicos sobre los productos químicos son los funcionarios de aduanas y los distribuidores de productos químicos.

Producción de aerosoles importados: La mayoría de los países importará una cuota considerable del total de sus productos en aerosol. Puede ser difícil recopilar datos sobre las importaciones de aerosoles en general que contengan HFC, porque las estadísticas oficiales de importación de productos en aerosol no distinguen, típicamente, los aerosoles que contienen HFC de los otros. Cuando no se dispone de estadísticas de importación utilizables de los organismos aduaneros, tal vez puedan obtenerse datos de los distribuidores de productos y de usuarios finales específicos. Por ejemplo, en el caso de los IDM, una cantidad limitada de empresas farmacéuticas importa típicamente sus productos y puede encuestarse a esas empresas para obtener la información necesaria.

EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad depende de la disponibilidad de los datos de actividad. Quizás los organismos encargados de los inventarios en países sin producción nacional de aerosoles necesiten recurrir a dictamen de expertos para estimar los datos de actividad, porque es probable que las estadísticas de importación sean incompletas (véase la sección 6.2.5, “Dictamen de expertos”, del capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”).

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones procedentes de aerosoles deberían calcularse usando el mismo método y fuentes de datos para cada año de la serie temporal. Cuando no se cuenta con datos coherentes para cualquier año de la serie temporal, las lagunas deberían calcularse nuevamente de conformidad con la orientación indicada en la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

El uso de los HFC en el sector de los aerosoles en general es mayor que en el sector de los IDM. En la actualidad, los datos de los fabricantes e importadores de HFC sobre las ventas en el sector de los aerosoles en general no están bien definidos, salvo para el HFC-134a a escala mundial. Esos datos pueden mejorarse aumentando las actividades de recopilación de datos. El carácter difuso del sector de los aerosoles en general significa que la adquisición de datos de abajo a arriba fiables requiere un estudio específico por países a cargo de expertos de la industria local, a quienes debería pedirse asesoramiento sobre las incertidumbres usando los enfoques sobre el dictamen de expertos que se resumen en el capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”.

Hay varias fuentes de datos fidedignos para el sector de los IDM, que permiten un alto grado de confianza en los datos presentados, lo cual debería reflejarse en las estimaciones de las emisiones para los inventarios. Pero, al presentar datos de un solo país, la falta de datos fiables sobre el sector de los aerosoles en general podría significar que los datos de las emisiones tal vez estén sobrestimados o subestimados por un factor de entre un tercio y tres veces.

3.7.5.2 Presentación de datos y documentación

La estimación de las emisiones para los inhaladores de dosis medida deberían presentarse en forma separada a partir de la estimación de las emisiones de otros aerosoles. Los organismos encargados de los inventarios deberían documentar el factor de emisión utilizado. Si se usa un factor de emisión específico del país en vez del factor por defecto, debería documentarse su formulación. Deberían presentarse datos detallados de actividad en la medida en que no se revele información confidencial de negocios. Cuando algunos datos son confidenciales, debería brindarse información cualitativa sobre los tipos de productos en aerosol consumidos, importados y fabricados en el país. Es probable que el tipo de HFC usado como propulsor o solvente y las ventas de IDM y aerosoles en general en países individuales puedan considerarse confidenciales⁴⁶. Cuando hay menos de tres fabricantes de productos químicos usados como solventes, la presentación de los datos podría agregarse en esta sección, porque ambas se consideran aplicaciones con 100% de emisiones (véase la sección 3.7.2.2 a continuación).

3.7.5.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buen práctica* realizar exámenes de control de la calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad, como se expone en la sección 8.7, “Procedimientos específicos de CC para cada categoría de fuentes (nivel 2)”, del capítulo 8, y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Además de la orientación que figura en el capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, se resumen a continuación procedimientos específicos importantes para esta subcategoría de fuentes. Deberían usarse datos tanto de abajo a arriba como de arriba abajo, para proceder a un examen de la estimación de emisiones. Los datos usados para calcular las emisiones del año $t-1$ deberían ser coherentes con los datos usados en la estimación del inventario del año anterior, de modo que el total de los dos años sume 100%. Si no es así, debería presentarse el motivo de la falta de coherencia. La recopilación de datos que se describe en la sección anterior sobre la elección de los datos debería ofrecer un control suficiente de la calidad. Para permitir una evaluación independiente del grado de calidad de la presentación de los datos, debería cuantificarse el número de los fabricantes de aerosoles más el de los usuarios finales.

⁴⁶ La cuantificación de los datos de uso en cada sector individual de los aerosoles en general permitirá elaborar proyecciones futuras más fidedignas y considerar estrategias de reducción de las emisiones .

3.7.6 Subcategoría de fuentes de los solventes

3.7.6.1 Aspectos metodológicos

Los HFC y los PFC se usan como solventes en las cuatro áreas principales siguientes:

- i) Limpieza de precisión;
- ii) Limpieza en electrónica;
- iii) Limpieza de metales;
- iv) Aplicaciones de deposición.

El uso de los HFC como solventes está aún en pañales. Los solventes que se han usado o pueden usarse son: HFC43-10mee, perfluorohexano (un PFC) y otros que no están enumerados en el Segundo informe de evaluación del IPCC, entre ellos el HFC-365mfc⁴⁷.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Como ocurre en el sector de los aerosoles, las emisiones procedentes de aplicaciones de solventes suelen considerarse emisiones “rápidas”, porque el 100% de los productos químicos se emite dentro de los dos años. Para estimar las emisiones, es necesario conocer la cantidad total de sustancias químicas contenidas en los productos de solventes que se han vendido cada año. Las emisiones de HFC y PFC procedentes del uso de solventes en el año t pueden calcularse según las *Directrices del IPCC*, del modo siguiente.

ECUACIÓN 3.36

$$\text{Emisiones en el año } t = [(\text{Cantidad de solventes vendidos en el año } t) \cdot \text{FE}] + [(\text{Cantidad de solventes vendidos en el año } (t - 1)) \cdot (1 - \text{FE})]$$

Como ocurre con los aerosoles, la ecuación debería aplicarse individualmente a cada producto químico, dependiendo de la desagregación en los datos disponibles. Además, la ecuación puede aplicarse también a diferentes clases de equipos. Las emisiones totales en equivalente del carbono son iguales a la suma de las emisiones de equivalente del carbono de cada producto químico.

El factor de emisión FE representa la fracción del producto químico emitida por los solventes en el año t . Se supone que la vida útil del producto es de dos años, así que toda cantidad no emitida durante el primer año debe ser emitida por definición durante el segundo y último año. Se incluye un árbol de decisiones para estimar las emisiones reales en la figura 3.13, “Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de los solventes”. Se describe a continuación el proceso de recopilación de datos.

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Es una *buen práctica* usar un factor de emisión por defecto del 50% de la carga inicial/año para las aplicaciones de solventes⁴⁸. En algunas aplicaciones con nuevos equipos, es posible que se obtengan tasas de pérdida muy inferiores y que las emisiones se produzcan durante un período de más de dos años. En tales situaciones, puede elaborarse otro factor de emisiones, usando datos de abajo a arriba sobre el empleo de esos equipos y evidencias empíricas sobre los factores de emisión alternativos⁴⁹. Esos factores de emisión específicos de cada país deberían documentarse cuidadosamente.

⁴⁷ En las *Directrices del IPCC* se ofrecen “Instrucciones para la presentación de datos” sólo para los gases de efecto invernadero con potenciales de calentamiento atmosférico enumerados en el Segundo informe de evaluación.

⁴⁸ Véase la nota 47.

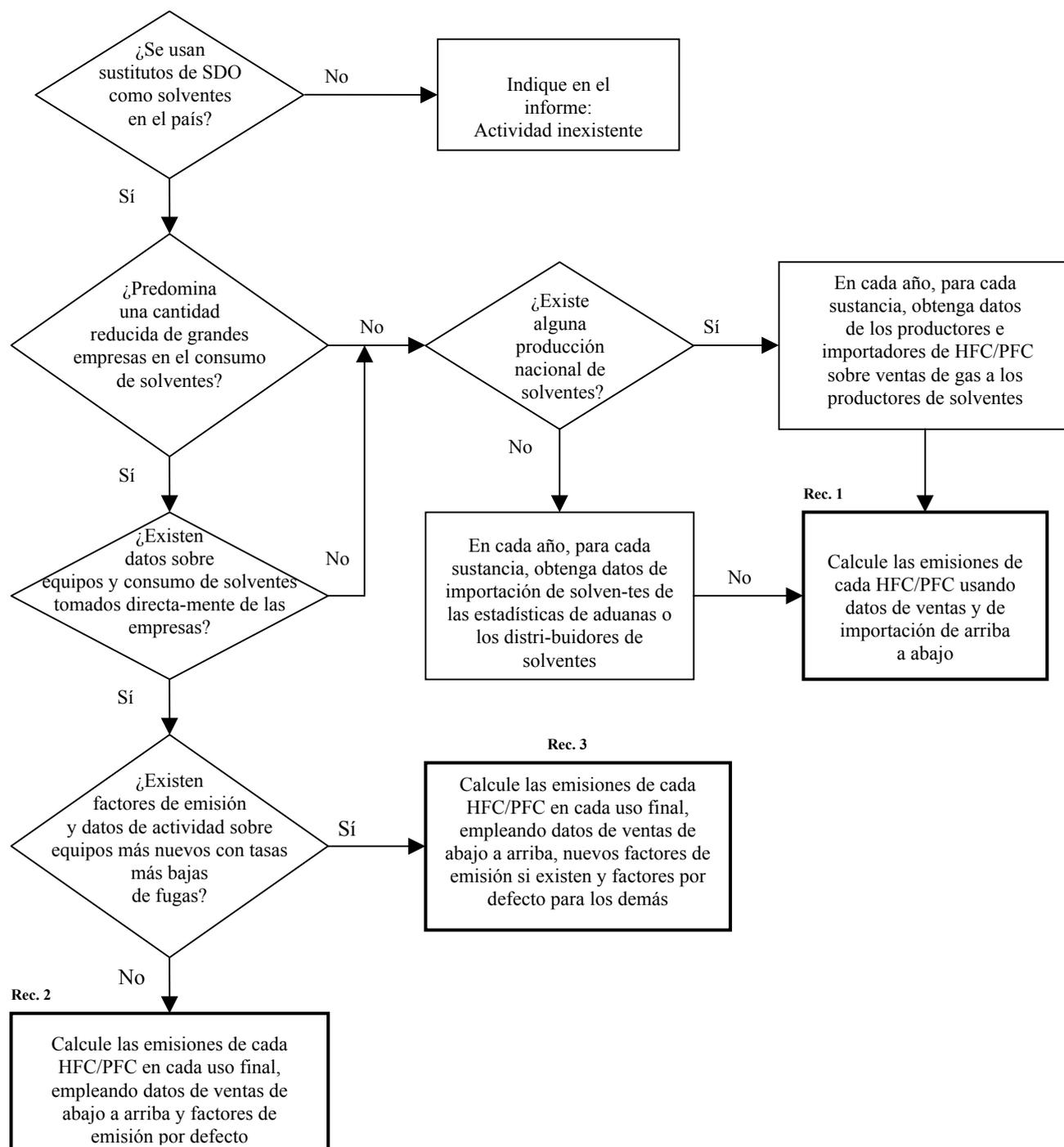
⁴⁹ Como orientación, por las ventas para nuevos equipos se emitirá alrededor del 10-20% y el gas restante queda almacenado. En los años siguientes, las ventas son de volúmenes para mantenimiento y pueden considerarse emitidas en un 100%.

No deberían aplicarse modificaciones por la recuperación y el reciclaje de solventes. Aunque los solventes con HFC y PFC se pueden recuperar y reciclar varias veces durante su empleo debido al alto costo, en los usos finales con mayores emisiones los productos químicos se descargarán, en promedio, seis meses después de la venta.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad para este uso final equivalen a la cantidad de cada producto químico pertinente vendido como solvente en un año dado. Al igual que en los aerosoles, deberían recopilarse datos sobre las cantidades de solventes nacionales e importados. Los datos requeridos pueden recopilarse usando métodos de arriba a abajo o de abajo a arriba, según el carácter de la industria nacional de solventes. En la mayoría de los países, los usuarios finales serán extremadamente diversos y sería práctico un enfoque de arriba a abajo.

Figura 3.13 Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de los solventes



Datos de arriba a abajo

Los datos de arriba a abajo son iguales a la cantidad de solvente químico vendido o importado anualmente a un país. Las ventas nacionales de solventes deberían conseguirse directamente de los fabricantes de productos químicos. Como los solventes se producen solamente en algunos pocos países, la mayoría de los países importarán algo o la totalidad de su consumo. Pueden recabarse datos sobre los solventes importados a los fabricantes que los exportan, aunque la información sobre las exportaciones a algunos países puede ser considerada confidencial. O bien, pueden usarse las estadísticas de importación de los organismos de aduanas o de los distribuidores de solventes importados. Habitualmente, los datos sobre importación de solventes se obtienen más fácilmente que los datos sobre importación de aerosoles, porque por lo general el solvente se importa a granel, más que en pequeños recipientes.

Si se elaboran factores de emisión específicos para determinados tipos de equipos, será necesario desagregar los datos de consumo según esas clases de equipos. En general, esto exigirá un enfoque de abajo a arriba.

Datos de abajo a arriba

Los datos de actividad de abajo a arriba incluyen la cantidad de piezas de equipo o envases que contienen solvente y su carga. El enfoque de abajo a arriba es apropiado cuando son grandes empresas las que consumen la mayor parte del solvente vendido, porque debería ser posible obtener datos detallados sobre el uso final del solvente en unas pocas entidades grandes. El enfoque de abajo a arriba puede ser también el más apropiado cuando se cuenta con factores de emisión específicos para cada equipo.

EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad depende de la disponibilidad de datos de actividad. Tal vez los organismos encargados del inventario en países sin producción nacional de solventes tengan que recurrir a dictamen de expertos al estimar los datos de actividad, porque es probable que las estadísticas de importación sean incompletas (véase la sección 6.2.5, “El dictamen de expertos”, del capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”).

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones procedentes de los solventes deberían calcularse usando los mismos métodos y fuentes de datos para cada año de la serie temporal. Cuando no se dispone de datos coherentes para algún año de la serie temporal, las lagunas deberían calcularse nuevamente siguiendo las orientaciones indicadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

El supuesto por defecto de que todo el solvente se emite dentro de los dos años está ampliamente aceptado y no debería ocasionar errores importantes. Del mismo modo, los datos de actividad deberían ser fidedignos, debido a la reducida cantidad de fabricantes de productos químicos, al alto costo del gas, que reduce el acopio de reservas, y al uso con un 100% de emisión que tienen la mayoría de las aplicaciones.

3.7.6.2 Presentación de datos y documentación

Los organismos encargados de los inventarios deberían presentar el factor de emisión utilizado y las bases empíricas de todo factor específico de un país. Con respecto a los datos de actividad, deberían presentarse las ventas e importaciones de productos químicos, salvo que existan inquietudes acerca de la confidencialidad, debido a la cantidad limitada y a la ubicación de los fabricantes. (En la actualidad, por ejemplo, puede haber un solo productor de cada compuesto.) Cuando hay menos de tres fabricantes de determinados productos químicos usados como solventes, la presentación podría agregarse a la sección de los aerosoles, porque se considera que en ambas aplicaciones se emite el 100% de los gases (véase la sección 3.7.1.2 anterior). En tal caso, para preservar la confidencialidad, no deberían especificarse las emisiones de cada gas y las emisiones deberían presentarse en toneladas de equivalente de CO₂.

3.7.6.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buen práctica* realizar exámenes de control de la calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y

control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad, como se expone en la sección 8.7, “Procedimientos específicos de CC para cada categoría de fuentes (nivel 2)”, del capítulo 8 y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Además de la orientación que figura en el capítulo 8, "Garantía de la calidad y control de calidad", se resumen a continuación procedimientos específicos importantes para esta categoría de fuentes.

- Para obtener un control y garantía de la calidad exactos, deberían recopilarse datos de arriba a abajo y de uso final. Para permitir una evaluación independiente del grado de calidad en la presentación de los datos, debería computarse el número de fabricantes y distribuidores más los usuarios finales entrevistados.
- Cuando se apliquen factores de emisión y datos de actividad específicos para diversas aplicaciones de solventes, deberían obtenerse datos de actividad con el mismo grado de detalle.

3.7.7 Subcategoría de fuentes de las espumas

3.7.7.1 Aspectos metodológicos

Cada vez más, se usan los HFC como sustitutos de los CFC y los HCFC en aplicaciones de espumas, tales como el aislamiento, la amortiguación y el embalaje. Los compuestos que pueden usarse son el HFC-245fa, el HFC-365mfc, el HFC-134^a y el HFC-152a. En la espuma de poro abierto, probablemente se produzcan emisiones de los HFC usados como agentes espumantes durante el proceso de fabricación. En la espuma de poro cerrado, las emisiones se producen durante un período más prolongado (p.ej., 20 años).

ELECCIÓN DEL MÉTODO

En el árbol de decisiones de la figura 3.14, “Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de las espumas”, se describen métodos de *buena práctica* para estimar las emisiones.

En las *Directrices del IPCC* se sugiere calcular las emisiones procedentes de la espuma de poro abierto por separado de las emisiones procedentes de la espuma de poro cerrado:

Espuma de poro abierto: Como los HFC y los PFC usados para el soplado de espuma de poro abierto se descargan de inmediato, todas las emisiones se producirán en el país de fabricación. Las emisiones se calculan de conformidad con la siguiente ecuación, presentada en las *Directrices del IPCC*⁵⁰:

Ecuación 3.37

$$\text{Emisiones procedentes de espuma de poro abierto} = \text{Total anual de HFC y PFC usados en la fabricación de espuma de poro abierto}$$

Espuma de poro cerrado: Las emisiones procedentes de espuma de poro cerrado se producen en tres puntos distintos:

- i) Pérdidas del primer año en la fabricación e instalación de espumas: Estas emisiones se producen cuando se fabrica el producto.
- ii) Pérdidas anuales (pérdidas in-situ por el uso de espumas): La espuma de poro cerrado perderá una fracción de su carga inicial cada año, hasta su retiro del servicio. Esas emisiones se producen cuando se usa el producto.
- iii) Pérdidas en el retiro de servicio: Las emisiones en el retiro de servicio también se producen cuando se usa el producto.

En la sección 2.17.4.3 de las *Directrices del IPCC*, Vol.3, “Estimación de las emisiones de HFC y PFC procedentes del soplado de espumas”, se presenta una ecuación para calcular las emisiones procedentes de la espumación, que corresponde a los dos primeros puntos de emisión. Para preparar una estimación completa de las emisiones procedentes de esta fuente, es una *buena práctica* añadir un tercer término a la ecuación, con el fin de tener en cuenta las pérdidas en el retiro de servicio y la destrucción de productos químicos, cuando se cuenta con datos. Se sugiere, pues, la siguiente ecuación:

Ecuación 3.38

$$\begin{aligned} \text{Emisiones procedentes de espuma de poro cerrado} = & [(\text{Total de HFC y PFC usados en la} \\ & \text{fabricación de nueva espuma de poro cerrado en el año } t) \bullet (\text{Factor de emisión de pérdida} \\ & \text{en el primer año})] + [(\text{Carga original de HFC o PFC inyectados en la fabricación de espuma} \\ & \text{de poro cerrado entre el año } t \text{ y el año } t - n) \bullet (\text{Factor de emisión de pérdida anual})] \\ & + [(\text{Pérdidas por retiro de servicio en el año } n) - (\text{HFC o PFC destruidos})] \end{aligned}$$

Donde:

⁵⁰ En estas aplicaciones, las emisiones reales de cada producto químico son iguales a las emisiones potenciales.

n = Vida útil del producto de espuma de poro cerrado.

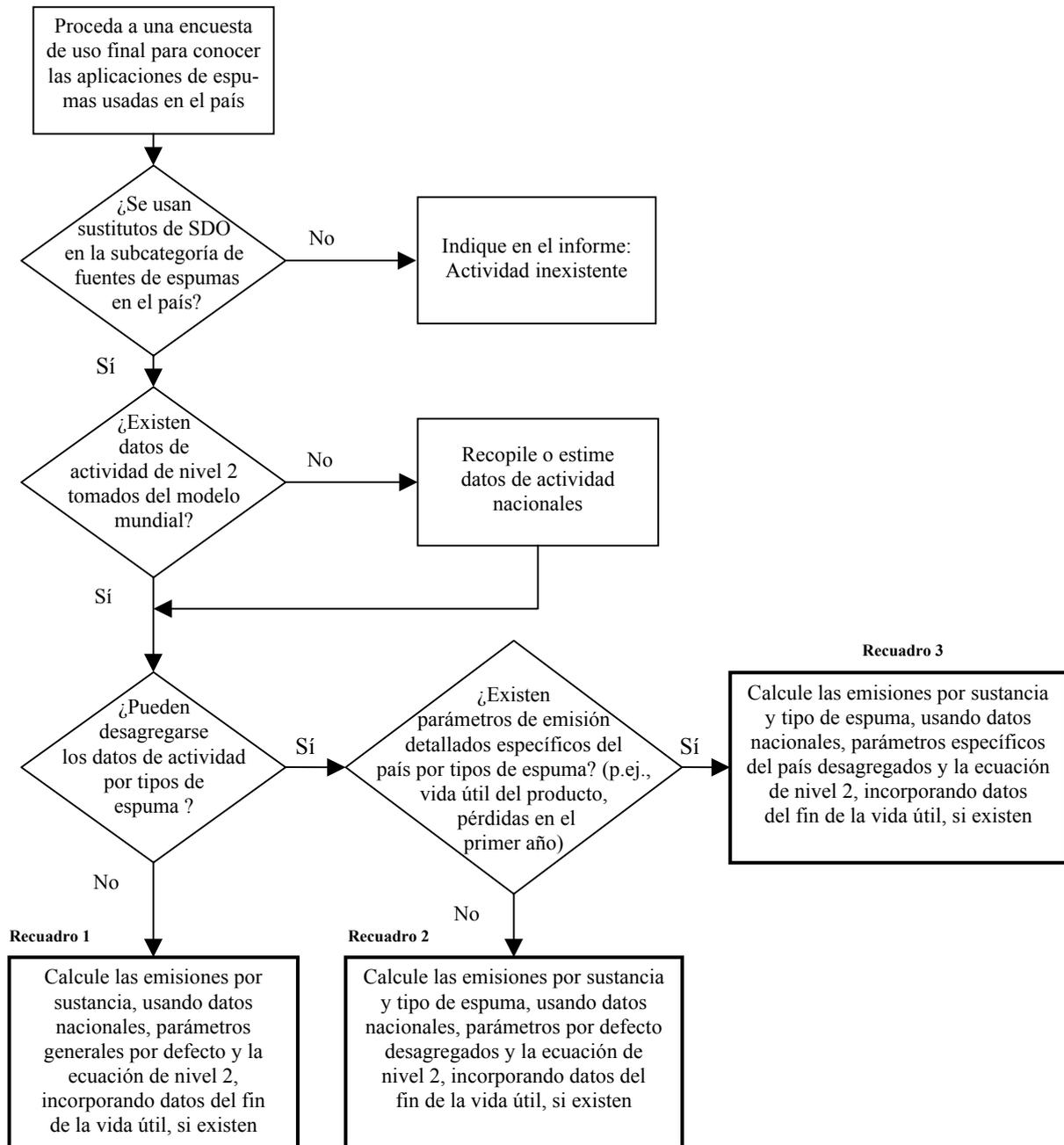
Pérdidas por retiro de servicio = productos químicos que quedan al finalizar la duración de servicio que se produce cuando se desguazan los equipos con pérdidas.

Esta ecuación debería aplicarse a cada producto químico y a las principales aplicaciones de espuma individualmente. Las emisiones totales en equivalente de CO₂ son iguales a la suma de las emisiones en equivalente de CO₂ de cada combinación de tipo de producto químico y aplicación de espuma.

Para aplicar este enfoque es necesario recopilar datos actuales e históricos sobre las ventas anuales de productos químicos a la industria de las espumas por el período que abarque la vida útil promedio de la espuma de poro cerrado (p.ej., los veinte años más recientes). Si no es posible recopilar datos para las pérdidas potenciales en el retiro de servicio, debería suponerse que todos los productos químicos no emitidos en la fabricación se emiten durante la vida útil de la espuma.

Una modificación de este enfoque consiste en usar los datos de actividad aportados por un modelo mundial que asigne datos de producción conocidos con exactitud a las diferentes aplicaciones de espuma en diversas regiones del mundo. Esos datos pueden usarse entonces con los factores de emisión desagregados que se presentan en el cuadro 3.17, “Factores de emisión por defecto para HFC/PFC procedentes de la espuma de poro cerrado”.

Figura 3.14 Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de las fuentes de espumas



ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Como en otras subcategorías de fuentes, la primera elección en los factores de emisión es desarrollar y usar datos específicos para cada país revisados por especialistas en la materia y bien documentados, basados en investigación en el terreno. Como ya se ha señalado, si no se cuenta con información sobre las pérdidas en el retiro de servicio, los factores de emisión usados para las pérdidas del primer año y las anuales deberían dar cuenta de todo el consumo de productos químicos.⁵¹

⁵¹ También se ha señalado que quizás el retiro de servicio no suponga necesariamente la pérdida total del agente espumante en ese punto o por algún tipo de uso secundario o porque el elemento ha sido eliminado intacto (p.ej., muchos refrigeradores). Estas podrían considerarse algunas de las opciones de gestión del fin de la vida útil disponibles para las naciones, pero son claramente menos efectivas que las tecnologías limpias de destrucción o recuperación. Los futuros modelos de emisiones deberían prestar la debida atención a las cuestiones del fin de la vida útil.

Si no se cuenta con datos específicos del país, pueden usarse supuestos por defecto. En el cuadro 3.18, “Factores de emisión por defecto para aplicaciones de HFC-134a (subcategoría de fuentes de las espumas) – (derivados de la información existente sobre CFC/HFC acumulada en investigaciones nacionales e internacionales)” y en el cuadro 3.19, “Factores de emisión por defecto para aplicaciones de HFC-245a/HFC-365mfc (subcategoría de fuentes de las espumas) – (derivados de la información existente sobre CFC/HFC acumulada en investigaciones nacionales e internacionales)”, se presentan factores de emisión que son los más modernos supuestos de *buen práctica* para las aplicaciones actuales más importantes de espuma de poro abierto. El uso de esos factores requerirá datos sobre las ventas de productos químicos y sobre el banco de productos químicos en los equipos para esas aplicaciones.

Si sólo se dispone de datos agregados sobre las ventas de productos químicos para la espuma de poro cerrado y no puede obtenerse información sobre tipos específicos de espumas, deberían usarse los factores de emisión generales por defecto enumerados en las *Directrices del IPCC* ⁵². Estos factores de emisión se muestran en el cuadro 3.17, “Factores de emisión por defecto para los HFC/PFC procedentes de espuma de poro cerrado”.

CUADRO 3.17 FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LOS HFC/PFC PROCEDENTES DE ESPUMA DE PORO CERRADO	
Factor de emisión	Valores por defecto
Vida útil del producto	n = 20 años
Pérdidas en el primer año	10% de la carga original de HFC o PFC/año, aunque el valor podría bajar al 5% si se produce un reciclaje importante durante la fabricación.
Pérdidas anuales	4,5% de la carga original de HFC o PFC/año
Fuente: Gamlen <i>et al.</i> (1986).	

CUADRO 3.18 FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LAS APLICACIONES DE HFC-134a (SUBCATEGORÍA DE FUENTES DE LAS ESPUMAS) (DERIVADOS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE SOBRE CFC/HFC ACUMULADA EN INVESTIGACIONES NACIONALES E INTERNACIONALES)			
Aplicaciones de HFC-134a	Vida del producto en años	% de pérdida en el primer año	% de pérdida anual
Poliuretano – Revestimiento integral ^a	12-15	95	2,5
Poliuretano – Panel continuo	50	10	0,5
Poliuretano – Panel discontinuo	50	12.5	0,5
Poliuretano – Aparato	15-20	7,5	0,5
Poliuretano – Inyectado	15	12,5	0,5
Espuma de un solo componente (OCF) ^a	50	95	2,5
Poliestireno extruido/Polietileno (XPS/PE) ^a	50	40	3
^a Aplicaciones de HFC-152a			
Fuente: Ashford (1999).			

⁵² No se presentan factores de emisión para la espuma de poro abierto porque todas las emisiones se producen durante el primer año.

CUADRO 3.19			
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LAS APLICACIONES DE HFC-245a/HFC-365MFC			
(SUBCATEGORÍA DE FUENTES DE LAS ESPUMAS)			
(DERIVADOS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE SOBRE CFC/HFC ACUMULADA EN INVESTIGACIONES NACIONALES E INTERNACIONALES)			
Aplicaciones de HFC-245a/HFC-365mfc	Vida del producto en años	% de pérdida en el primer año	% de pérdida anual
Poliuretano – Panel continuo	50	7,5	0,5
Poliuretano – Panel discontinuo	50	10	0,5
Poliuretano – Aparato	15	4	0,25
Poliuretano – Inyectado	15	10	0,5
Poliuretano – Bloque continuo	15	40	0,75
Poliuretano – Bloque discontinuo	15	45	0,75
	50	10	1
Poliuretano – Laminado continuo	25	10	1
Poliuretano – Pulverizado	50	25	1,5
Fenólico – Bloque discontinuo	15	45	0,75
Fenólico – Laminado discontinuo	50	10	1
Fuente: Ashford (1999).			

El uso de estos factores de emisión por defecto dará por resultado que un 90% de las cargas iniciales se emiten en veinte años de uso anual, después del 10% inicial durante el primer año.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Se necesitan dos tipos de datos de actividad para preparar las estimaciones de las emisiones: la cantidad de productos químicos usados en la fabricación de espumas en un país y la cantidad de productos químicos contenidos en las espumas usadas en el país. Las cuestiones relativas a la recopilación de datos en estas dos áreas son diferentes.

- **Productos químicos usados en la fabricación de espumas:** La cantidad de productos químicos a granel usados en la industria de la espumación debería abarcar tanto los HFC y PFC producidos en el país como los importados. Los datos sobre las ventas de productos químicos nacionales a la industria de las espumas deberían obtenerse directamente de los fabricantes de productos químicos. Como en el caso de otras subcategorías de fuentes de sustitutos de SDO, los datos sobre productos químicos importados pueden obtenerse de los funcionarios de aduanas o de los distribuidores de productos químicos.

Para la espuma de poro abierto, todas las emisiones se producirán durante la fabricación. Es necesario, pues, determinar la cuota de productos químicos asociados con la fabricación de espuma de poro abierto. Esos datos pueden determinarse mediante una encuesta de uso final o lograrse una aproximación revisando datos análogos sobre uso final recopilados con respecto a los CFC y los HCFC.

- **Productos químicos emitidos durante la vida útil de la espuma de poro cerrado:** Deberían calcularse las pérdidas anuales por retiro del servicio asociadas con la espuma de poro cerrado para toda la espuma en uso en el país. Esto obligará a considerar la importación y exportación de productos que contengan espuma de poro cerrado, lo cual puede ser bastante complicado.

Los organismos encargados de los inventarios en países que exportan espuma de poro cerrado deberían restar esos volúmenes de sus cálculos de pérdidas anuales y por retiro del servicio, ya que las emisiones se producirán en el país importador. Los datos sobre la carga de productos químicos de la espuma de poro cerrado exportada pueden obtenerse de los grandes fabricantes.

En cambio, los organismos encargados de los inventarios en países que importan productos que contienen espuma de poro cerrado deberían incluir estimaciones de las emisiones procedentes de esos productos importados, en aras de la exhaustividad. Como las estadísticas de importación de productos con espuma de poro

cerrado son extremadamente difíciles de recopilar, tal vez los organismos encargados de los inventarios en países cuyas emisiones sólo proceden de espuma de poro cerrado importada necesiten recurrir a dictamen de expertos para estimar esos datos (véase la sección 6.2.5, “Dictamen de expertos”, del capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”).

En el futuro, los organismos encargados de los inventarios podrán estar en condiciones de usar conjuntos de datos de producción y de consumo internacionales de HFC/PFC para preparar estimaciones de los productos químicos contenidos en la espuma de poro cerrado importada. Por ejemplo, en el proceso de recopilación de estadísticas para el Estudio de evaluación ambiental de alternativas a los fluorocarbonos (AFEAS) se compilieron datos sobre la actividad mundial hasta 1997 acerca del HFC-134a en el sector de las espumas⁵³. Aunque los datos mundiales se conocen relativamente bien, no se cuenta actualmente con datos desglosados por regiones.

EXHAUSTIVIDAD

En la subcategoría de fuentes de las espumas, se han identificado quince aplicaciones de espumas y cuatro productos químicos potenciales usados como agentes espumantes (HFC-134a, HFC-152a, HFC-245fa y HFC-365mfc). En aras de la exhaustividad, los organismos encargados de los inventarios deberían determinar si los agentes espumantes se usan en todas las aplicaciones, lo cual sugiere 60 combinaciones teóricamente posibles (véase el cuadro 3.20, “Uso de sustitutos de SDO en la industria de la espumación”). En la práctica, esta lista se reduce a 32 combinaciones realistas potenciales de producto químico/aplicación, aunque existen algunas posibles variantes regionales. Debería advertirse también que, en esta etapa, el método no se refiere al uso potencial de mezclas y, en realidad, sería difícil asignar diferentes factores de emisión a esos sistemas. El principal problema con el uso potencial de mezclas será la vigilancia de la actividad.

⁵³ El HFC utilizado con más frecuencia es el HFC-134a . Los datos del AFEAS pueden encontrarse en <http://www.afeas.org>.

CUADRO 3.20				
USO DE SUSTITUTOS DE SDO EN LA INDUSTRIA DE LA ESPUMACIÓN				
(EMISIONES DE PRODUCTOS DE ESPUMA POR GASES SUSTITUTOS DE SDO)				
Subsectores	Agentes espumantes como alternativas de los HFC^b			
	HFC-134a	HFC-152a	HFC-245fa	HFC-365mfc
Espuma flexible de PU ^a	X	X	X	X
Espuma moldeada flexible de PU	X	X	X	X
Espuma de revestimiento integral de PU	O	O	X	X
Panel continuo de PU	O	X	O	O
Panel discontinuo de PU	O	X	O	O
Espuma de PU en aparatos	O	X	O	O
Espuma de PU inyectada	O	X	O	O
Bloque continuo de PU	X	X	O	O
Bloque discontinuo de PU	X	X	O	O
Laminado continuo de PU	X	X	O	O
Espuma pulverizada de PU	X	X	O	O
Espuma de un solo componente de PU	O	O	X	X
Poliestireno extruido/Polietileno	O	O	X	X
Bloque fenólico	X	X	O	O
Laminado fenólico	X	X	O	O

^a PU = Poliuretano.
^b X – uso no previsto, O – uso actual o previsto.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Un organismo encargado del inventario debería mantener un método coherente para evaluar sus emisiones durante el período de que se trate. Por ejemplo, si no hay ningún sistema establecido para vigilar el retiro real de servicio al comienzo del proceso de inventario, será muy difícil obtener datos retrospectivamente si se piensa en cambiar de los datos “por defecto” a datos “reales”. Por lo tanto, esta decisión debería someterse a un cuidadoso análisis al comienzo del proceso de presentación de los datos. Todo nuevo cálculo de las estimaciones debería hacerse de conformidad con la orientación proporcionada en el capítulo 7.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Los datos actuales sobre las ventas indican que las estimaciones mundiales son exactas dentro de un 10%, las estimaciones regionales están en el orden del 30-40% y la incertidumbre en la información de arriba a abajo específica de cada país puede ser superior al 50% (McCulloch, 1986). La aplicación de los factores de emisión aumentará las incertidumbres, particularmente si sólo pueden usarse factores de emisión por defecto, aunque cabe señalar que el cálculo de las emisiones totales para un año dependerá sólo parcialmente de la exactitud de los supuestos sobre nuevo consumo en ese año. El resto de las emisiones surgirá de la espuma instalada y de la retirada de servicio en ese año. Como en muchos casos el retiro de servicio será el factor desencadenante de la mayoría de las emisiones, los supuestos sobre la duración del producto pueden introducir el mayor grado de incertidumbre en los cálculos de las emisiones por defecto. Por lo tanto, es muy importante que los organismos encargados del inventario mantengan registros de sus estimaciones de los productos que contienen HFC y elaboren algún mecanismo para vigilar el retiro real de servicio, si es posible. Esos registros pueden ayudar a asegurar que las emisiones sumadas no excedan del total de aportes en el curso del tiempo.

3.7.7.2 Presentación de datos y documentación

Los factores de emisión deberían presentarse junto con la documentación para elaborar datos específicos para cada país. Las ventas de productos químicos para la industria de la espumación deberían presentarse de modo que se preserve la información de negocios confidencial. La mayoría de las cuestiones de confidencialidad dimanantes de todo proceso de recopilación de datos se refieren a las actividades más concentradas. Para resolver esto, las emisiones procedentes de las espumas podrían presentarse como una cifra única, siempre que la formulación de esa cifra pueda ser revisada en condiciones apropiadas de confidencialidad. Por supuesto, siempre será preferible una declaración de emisiones combinadas de la fabricación (primer año), el uso (vida útil del producto) y el retiro de servicio (eliminación), para permitir que se sigan enfocando continuamente las mejoras introducidas en cada una de esas áreas. Si más adelante los organismos encargados de los inventarios usan conjuntos de datos mundiales y regionales, deberían presentar los resultados acerca del modo en que han asignado las emisiones en cada país.

3.7.7.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buen práctica* realizar exámenes de control de la calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad, como se expone en la sección 8.7, “Procedimientos específicos de CC para cada categoría de fuentes (nivel 2)”, del capítulo 8 y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Una de las principales preocupaciones consistirá en asegurar que se mantenga la preservación de la integridad de los datos regionales y mundiales al sumar las estimaciones de cada país y será necesario que una parte considerable del proceso de revisión de GC/CC se concentre en esta referencia cruzada.

3.7.8 Subcategoría de fuentes de la refrigeración fija

3.7.8.1 Aspectos metodológicos

Se emplean los HFC y los PFC como sustitutos de los CFC y los HCFC en los equipos fijos de refrigeración y climatización. Son ejemplos de equipos de refrigeración las neveras domésticas, los frigoríficos de comercios minoristas de alimentos, la climatización comercial y residencial y los depósitos frigoríficos. Por ahora, en esta subcategoría de fuentes se incluye también el transporte frigorífico que no esté comprendido en la subcategoría de fuentes de la climatización móvil (véase la sección 3.7.5, "Subcategoría de fuentes de la climatización móvil")⁵⁴.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

El enfoque de nivel 2 en las *Directrices del IPCC* se basa en calcular las emisiones procedentes del montaje, funcionamiento y eliminación de equipos de refrigeración fijos. A continuación se muestra la ecuación general:

<p>Ecuación 3.39</p> $\text{Emisiones totales} = \text{Emisiones de montaje} + \text{Emisiones de funcionamiento} + \text{Emisiones de eliminación}$

- Las **emisiones de montaje** comprenden las emisiones asociadas con la fabricación de los productos, aunque finalmente los productos sean exportados.
- Las **emisiones de funcionamiento** comprenden las fugas anuales de gas acumulado en los equipos en uso y las emisiones durante el mantenimiento técnico. En este cálculo deberían incluirse todas las unidades de equipos existentes en el país, sin tener en cuenta dónde fueron fabricadas.
- Las **emisiones de eliminación** comprenden la cantidad de refrigerante descargado de los sistemas que se desguazan. Como en las emisiones de funcionamiento, deberían incluir todas las unidades de equipos existentes en el país cuando se desguazan, sin tener en cuenta dónde fueron fabricadas.

Es una *buena práctica* aplicar un enfoque de nivel 2 de arriba a abajo, usando las ventas anuales de refrigerante. El enfoque alternativo, usando datos de los equipos de abajo a arriba y múltiples factores de emisión, requiere muchos más datos y no es probable que aumente la exactitud, pero sigue siendo una *buena práctica* en determinadas circunstancias nacionales. En el árbol de decisiones de la figura 3.15, "Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de la refrigeración", se describen métodos de *buena práctica* para estimar las emisiones. En el cuadro 3.22, "Las mejores estimaciones (dictamen de expertos) sobre carga, vida útil y factores de emisión para los equipos de refrigeración fijos", se describen el factor de emisión para los enfoques de arriba a abajo y de abajo a arriba y las mejoras en los datos por defecto en el método de nivel 2.

Enfoque de arriba a abajo

En el enfoque de arriba a abajo, las tres etapas de emisión se combinan en la siguiente ecuación simplificada:

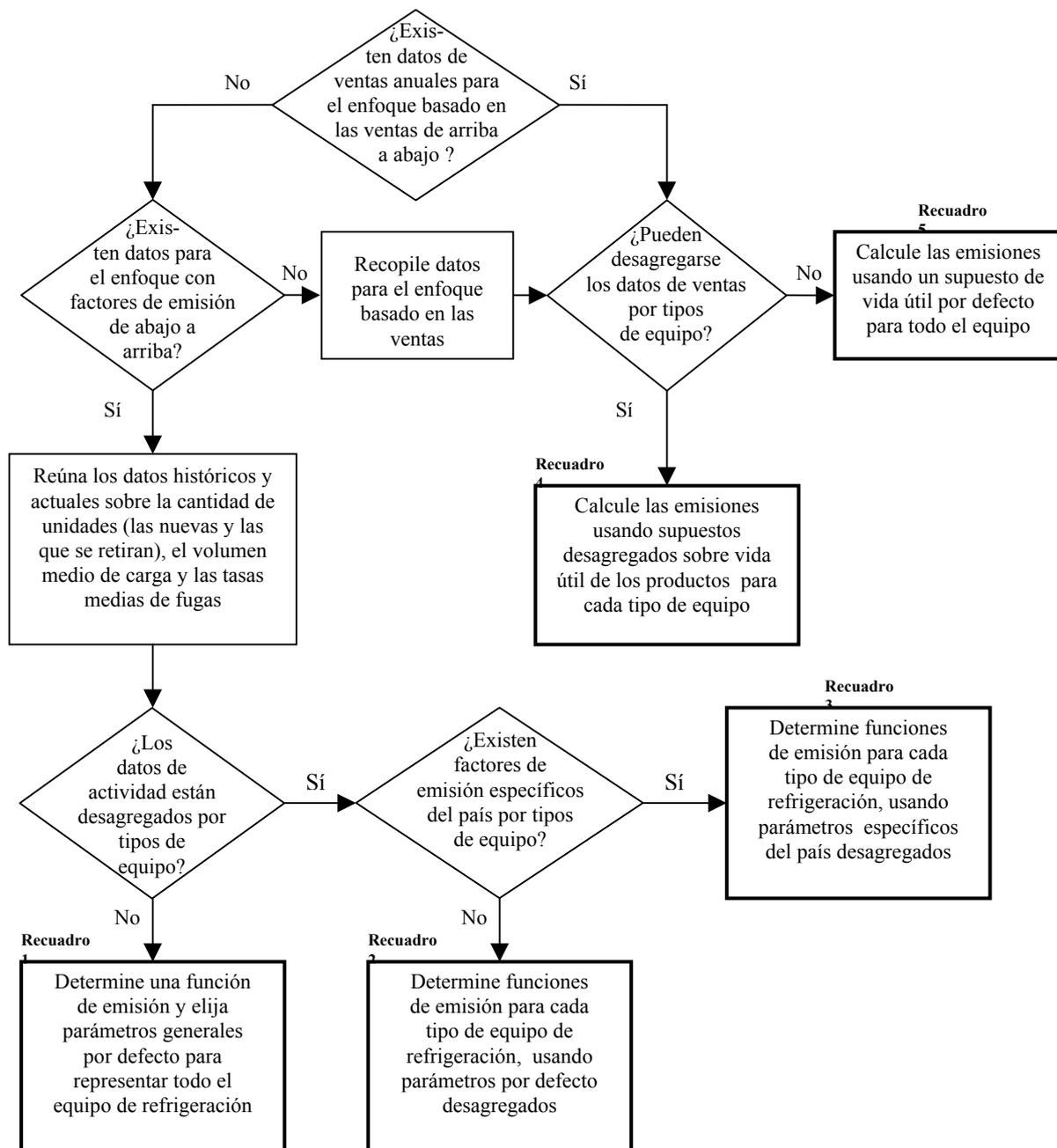
<p>ECUACIÓN 3.40</p> $\text{Emisiones} = (\text{Ventas anuales de nuevo refrigerante}) - (\text{Carga total de los nuevos equipos}) + (\text{Carga total original de los equipos que se retiran}) - (\text{Cantidad de destrucción deliberada})$

Ventas anuales de nuevo refrigerante es la cantidad de un producto químico introducida en el sector de la refrigeración en un país determinado en un año dado. Comprende todos los productos químicos usados para llenar o recargar los equipos, ya sea que esos productos hayan sido cargados en los equipos en fábrica, cargados en los equipos después de la instalación o usados para recargar los equipos durante el mantenimiento técnico. No incluye los productos químicos reciclados.

⁵⁴ Particularmente, los sistemas autónomos; los sistemas con motor deberían figurar como climatización móvil (véase la sección 3.7.5, "Subcategoría de fuentes de la climatización móvil").

Carga total de los nuevos equipos es la suma de todas las cargas de todos los nuevos equipos que se venden en el país en un año dado. Comprende tanto los productos químicos requeridos para llenar los equipos en la fábrica como los productos químicos requeridos para llenar los equipos después de la instalación. No incluye las emisiones durante la carga ni los productos químicos usados para recargar los equipos durante el mantenimiento.

Figura 3.15 Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de la refrigeración



La carga total original de los equipos que se retiran es la suma de todas las cargas originales de todos los equipos que se retiran en el país en un año dado. Comprende tanto los productos químicos que se requerían originalmente para llenar los equipos en fábrica como los productos químicos que se requerían originalmente para llenar los equipos después de la instalación. No incluye las emisiones durante la carga ni los productos químicos usados para recargar los equipos durante el mantenimiento.

En cada país existe un acopio de equipos de refrigeración que contienen productos químicos refrigerantes (banco). Por lo tanto, deben usarse las ventas anuales de nuevos refrigerantes químicos con una de las dos finalidades siguientes⁵⁵:

- Para aumentar el volumen de las existencias de productos químicos (banco) en uso; o
- Para sustituir la fracción de las existencias del año anterior que ha sido emitida a la atmósfera (por ejemplo, debido a las fugas y descargas).

La diferencia entre la cantidad total de gas vendida y la cantidad de ese gas usada para aumentar el volumen de las existencias de productos químicos es igual al volumen de productos químicos emitidos a la atmósfera. El aumento en el volumen de las existencias de productos químicos es igual a la diferencia entre las cargas totales de los equipos nuevos y las de los que se retiran.

Usando datos sobre las ventas actuales e históricas de gas, en vez de los factores de emisión citados a partir de referencias bibliográficas, la ecuación refleja las emisiones durante el montaje, el funcionamiento y el retiro de servicio en la fecha y lugar en que ocurren. Probablemente, los factores de emisión por defecto sean inexactos, porque las tasas de emisiones pueden variar ampliamente de un país a otro e incluso dentro de un mismo país.

Esta ecuación puede aplicarse a distintos tipos de equipos o, más frecuentemente, a todos los equipos de climatización y refrigeración existentes en un país, según el grado de desagregación de los datos disponibles. Si se cuenta con datos desagregados, se suman las estimaciones de las emisiones elaboradas para cada tipo de equipo y cada producto químico, para determinar las emisiones totales por sector.

Enfoque de abajo a arriba

Para aplicar el enfoque de nivel 2 de abajo a arriba, se requieren una estimación de la cantidad de refrigerante que existe en los equipos y de los factores de emisión para representar los diversos tipos de fugas en los equipos (o sea, las emisiones durante el montaje, el funcionamiento y la eliminación):

En las emisiones durante el montaje, debería usarse la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones en el montaje} = (\text{Total de HFC y PFC cargados en el año } t) \cdot (k / 100)$$

Donde:

k = Factor de emisión que representa el porcentaje de carga inicial que se emite durante el montaje

Las emisiones de funcionamiento se calculan a partir del banco total de HFC/PFC contenidos en los equipos actualmente en uso. Debería usarse la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones en el funcionamiento} = (\text{Cantidad de existencias de HFC y PFC en el año } t) \cdot (x / 100)$$

Donde:

x = Tasa anual de fuga como porcentaje de la carga total. Dado que los diferentes tipos de equipos de refrigeración se descargarán con tasas diferentes, es una *buena práctica* desagregar los datos en clases homogéneas (o sea, por antigüedad o tamaño) y formular valores de x específicos para los diferentes tipos de equipo

Para calcular las emisiones en la eliminación, es necesario conocer la antigüedad promedio (n) del equipo y la carga inicial n años atrás. Entonces pueden calcularse las emisiones en la eliminación con la siguiente ecuación:

⁵⁵ La industria requiere también nuevos productos químicos como reservas. Puede añadirse un término a la ecuación general para tener en cuenta ese uso; ese término no se incluye para simplificar el procedimiento.

ECUACIÓN 3.43

$$\text{Emisiones en la eliminación} = (\text{HFC y PFC cargados en el año } t - n) \cdot (y / 100) \cdot (1 - z / 100) - (\text{Cantidad de destrucción deliberada})$$

Donde:

y = Porcentaje de la carga inicial que queda en los equipos en la fecha de su eliminación

z = Eficiencia de recuperación a la fecha de la eliminación. Si se recicla algún producto químico durante la eliminación, el porcentaje debería restarse del total. Si no hay ningún reciclaje, este término será cero

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN**Enfoque de arriba a abajo (basado en las ventas)**

Como este enfoque se basa en las ventas de productos químicos y no en las tasas de fugas en los equipos, no requiere el uso de factores de emisión.

Enfoque de abajo a arriba

La *buena práctica* para elegir los factores de emisión de abajo a arriba es usar datos específicos de cada país, basados en la información suministrada por los fabricantes de los equipos, los proveedores de servicio técnico y las empresas de eliminación. Cuando no se cuenta con datos nacionales, los organismos encargados del inventario deberían usar los factores de emisión por defecto que se indican en el cuadro 3.22, “Las mejores estimaciones (dictamen de expertos) sobre la carga, vida útil y factores de emisión para los equipos de refrigeración fijos”, donde se resumen las mejores estimaciones sobre carga en los equipos, vida útil y factores de emisión. Esos valores por defecto reflejan el estado actual de los conocimientos acerca de la industria y se ofrecen como rangos, más que como estimaciones puntuales. Los organismos encargados de los inventarios deberían elegir dentro de esos rangos según las condiciones específicas de cada país y documentar las razones de su elección. Si los datos de abajo a arriba no pueden desglosarse en clases de equipo como se muestra en el cuadro 3.21, “Documentación de buena práctica para la refrigeración fija”, es una *buena práctica* recurrir a dictamen de expertos para estimar la cuota relativa de cada tipo de equipo y elegir factores de emisión por defecto apropiados para los tipos más comunes de equipos (véase la sección 6.2.5, “Dictamen de expertos”, del capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”).

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD**Enfoque de arriba a abajo (basado en las ventas)**

Los organismos encargados del inventario en países que fabrican productos químicos refrigerantes deberían estimar las *ventas anuales de nuevos refrigerantes* usando información suministrada por los fabricantes de productos químicos. Los datos sobre productos químicos importados deberían recopilarse consultando las estadísticas de aduanas, a los importadores o a los distribuidores. (Véase en el recuadro 3.4 un análisis del modo de tratar las importaciones y exportaciones al estimar las *ventas anuales* y las otras cantidades de la ecuación.)

La *carga total de los nuevos equipos* puede estimarse usando, o bien:

- Información de los fabricantes/importadores de equipos sobre la carga total de los equipos que fabrican o importan; o bien:
- Información de los fabricantes/importadores de productos químicos sobre sus ventas a los fabricantes de equipos.

Tal vez la primera fuente de datos sea preferible a la segunda, porque quizás algunos nuevos equipos no puedan ser cargados por los fabricantes de equipos, a la vez que parte del refrigerante vendido a los fabricantes de equipos quizás no pueda usarse para llenar nuevos equipos (p.ej., porque se usa para el mantenimiento de los equipos existentes).

La *carga total original de los equipos que se retiran* puede estimarse usando las mismas fuentes que se usan para la *carga total de los nuevos equipos*. Pero en este caso los datos son históricos, desde el año en que se construyeron los equipos que se retiran ahora. Ese año se determina restando la antigüedad de los equipos del año en curso. La información sobre la antigüedad de los equipos puede recabarse de los fabricantes de equipos

y de los usuarios. Se indican valores por defecto para la vida útil de siete tipos diferentes de equipo en el cuadro 3.22, “Las mejores estimaciones (dictamen de expertos) sobre carga, vida útil y factores de emisión para equipos de refrigeración fijos”. El valor de vida útil del producto por defecto para los equipos de climatización y refrigeración en general, para usar cuando no se dispone de datos sobre tipos específicos de equipo, es de 10-15 años.

EXHAUSTIVIDAD

Puede lograrse la exhaustividad con el método de arriba a abajo si se cuenta con datos sobre los nuevos refrigerantes y sobre los refrigerantes en los equipos que se retiran en el año en curso. En el método de abajo a arriba, la exhaustividad depende de una estricta contabilidad del gas acumulado en los equipos existentes, que puede suponer el rastreo de grandes cantidades de datos.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones procedentes de la refrigeración fija deberían calcularse usando el mismo método y fuentes de datos para cada año de la serie temporal. Cuando no se cuenta con datos coherentes para aplicar el método más riguroso acerca de algún año de la serie temporal, esas lagunas deberían calcularse nuevamente según la orientación provista en la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

RECUADRO 3.4
LA CONTABILIDAD DE LAS IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE REFRIGERANTES Y EQUIPOS

Al estimar las *ventas anuales de nuevos refrigerantes*, la *carga total de los nuevos equipos* y la *carga total original de los equipos que se retiran*, los organismos encargados de los inventarios deberían tener en cuenta las importaciones y exportaciones de productos químicos y de equipos. Así se asegurará que capten el consumo interno real de productos químicos y equipos. Por ejemplo, si un país importa una gran parte del HFC-134a que utiliza, la cantidad importada debería contabilizarse como parte de las **ventas anuales**. O bien, si un país carga y luego exporta una cantidad importante de refrigeradores domésticos, la carga total de los refrigeradores exportados debería restarse de la carga total de los refrigeradores domésticos fabricados en el país, para obtener la carga total de nuevos equipos.

ENFOQUE GENERAL: En general, la cantidad de ventas anuales debería estimarse usando la fórmula siguiente:

$$\text{Ventas anuales} = \text{Productos químicos fabricados en el país} + \text{Productos químicos importados a granel} - \text{Productos químicos exportados a granel} + \text{Productos químicos contenidos en equipos importados cargados en fábrica} - \text{Productos químicos contenidos en equipos exportados cargados en fábrica}$$

Todas las cantidades deberían corresponder al año para el que se estiman las emisiones. Del mismo modo, la cantidad de carga total de los nuevos equipos debería estimarse usando la fórmula siguiente:

$$\text{Carga total de los nuevos equipos} = \text{Productos químicos para cargar equipos fabricados en el país} + \text{Productos químicos para cargar equipos importados no cargados en fábrica} + \text{Productos químicos contenidos en equipos importados cargados en fábrica} - \text{Productos químicos contenidos en equipos exportados cargados en fábrica}$$

La *carga total original de los equipos que se retiran* debería estimarse del mismo modo que la *carga total de los nuevos equipos*, salvo que todas las cantidades deberían 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 nuevos equipos, es posible ignorar las cantidades de productos químicos importados o exportados dentro de equipos cargados en fábrica, porque esas cantidades se anulan en el cálculo de las emisiones. Sin embargo, los organismos encargados del inventario que usen el cálculo simplificado deberían asegurarse de: 1) tratar de manera coherente las importaciones y las exportaciones de equipos cargados en fábrica al estimar tanto las ventas anuales como la carga total de los nuevos equipos; y 2) continuar contabilizando las importaciones y las exportaciones de equipos cargados en fábrica al estimar la carga total original de los equipos que se retiran. Como los nuevos equipos se convertirán en definitiva en equipos que se retiran, sería conveniente que los países sigan el rastro de las importaciones y exportaciones de los equipos cargados en fábrica, aunque esa información no sea estrictamente necesaria para elaborar la estimación del año en curso.

La fórmula simplificada para las **ventas anuales** es:

$$\text{Ventas anuales} = \text{Productos químicos fabricados en el país} + \text{Productos químicos importados a granel} - \text{Productos químicos exportados a granel}$$

La fórmula simplificada para la **carga total de los nuevos equipos** es:

$$\text{Carga total de los nuevos equipos} = \text{Productos químicos para cargar equipos fabricados en el país} + \text{Productos químicos para cargar equipos importados no cargados en fábrica}$$

Debe usarse la fórmula completa, teniendo en cuenta las importaciones y exportaciones de los equipos pre-cargados, para calcular la *carga total original de los equipos que se retiran*.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

En el cuadro 3.22, “Las mejores estimaciones (dictamen de expertos) sobre carga, vida útil y factores de emisión para los equipos de refrigeración fijos”, se presentan rangos para los factores de emisión que ponen de relieve la

incertidumbre asociada con este sector. En general, los métodos reales de abajo a arriba que se basan en factores de emisión presentan más incertidumbre que los métodos de arriba abajo en que se usan datos sobre las ventas de productos químicos. Los organismos encargados de los inventarios deberían recurrir al asesoramiento de las industrias en cuanto a las incertidumbres, usando los enfoques para obtener dictámenes de expertos como se indica en el capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”.

3.7.8.2 Presentación de datos y documentación

La información básica necesaria para asegurar la transparencia en las estimaciones de las emisiones presentadas se muestra en el cuadro 3.21, “Documentación de la buena práctica para la refrigeración fija”.

CUADRO 3.21		
DOCUMENTACIÓN DE LA BUENA PRÁCTICA PARA LA REFRIGERACIÓN FIJA		
Buena práctica en la presentación de información, por métodos	Nivel 2 (De arriba a abajo)	Nivel 2 (De abajo a arriba)
Ventas totales anuales de nuevos refrigerantes	X	
Carga total de los nuevos equipos	X	X
Carga total original de los equipos que se retiran	X	X
Carga total de todas las existencias de equipos		X
Vida útil de los equipos	X	X
Documentación sobre la vida útil, si es específica del país	X	X
Factores de emisión/recuperación		X
Documentación sobre los factores, si son específicos del país		X

Fuente: Dictamen del Grupo de expertos (véanse los copresidentes, editores y expertos, Emisiones de sustitutos de las sustancias destructoras del ozono).

3.7.8.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buena práctica* realizar exámenes de control de la calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad, como se expone en la sección 8.7, “Procedimientos específicos de CC para cada categoría de fuentes (nivel 2)”, del capítulo 8 y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Además de la orientación que se ofrece en el capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, se resumen a continuación procedimientos específicos importantes para esta subcategoría de fuentes:

- Aplicar a la vez el enfoque de abajo a arriba y el enfoque simplificado de arriba a abajo permitirá una verificación cruzada de la estimación final de las emisiones.
- Es especialmente importante examinar la exactitud de los factores de emisión usados en el método de abajo a arriba con los datos de arriba a abajo, porque es probable que los factores de emisión estén asociados con la máxima incertidumbre.

Esta técnica minimizará también la posibilidad de que no se tengan en cuenta algunos usos finales.

Se trata de algo semejante al cálculo del “Enfoque por referencia” en el sector de la energía. La combinación usa el enfoque simple de arriba a abajo como verificación cruzada de un método más detallado basado en la tecnología y la aplicación.

CUADRO 3.22					
LAS MEJORES ESTIMACIONES (DICTAMEN DE EXPERTOS) SOBRE CARGA, VIDA ÚTIL Y FACTORES DE EMISIÓN PARA LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN FIJOS					
Aplicación	Carga (kg)	Vida útil (años)	Factores de emisión (% de la carga inicial/año)		
Factores en la ecuación	(E_{i carga})	(n)	(k)	(x)	(z)
			Emisión inicial	Emisión durante la vida útil	Emisión al fin de la vida útil (eficiencia de recuperación)
Refrigeración doméstica	$0,05 \leq c \leq 0,5$	$12 \leq t \leq 15$	$0,2 \leq e \leq 1$	$0,1 \leq e \leq 0,5$	70% del resto
Aplicaciones comerciales autónomas	$0,2 \leq c \leq 6$	$8 \leq t \leq 12$	$0,5 \leq e \leq 3$	$1 \leq e \leq 10$	$70 \leq r \leq 80\%$ del resto
Refrigeración comercial mediana y grande	$50 \leq c \leq 2000$	$7 \leq t \leq 10$	$0,5 \leq e \leq 3$	$10 \leq e \leq 30$	$80 \leq r \leq 90\%$ del resto
Refrigeración en el transporte	$3 \leq c \leq 8$	$6 \leq t \leq 9$	$0,2 \leq e \leq 1$	$15 \leq e \leq 50$	$70 \leq r \leq 80\%$ del resto
Refrigeración industrial, incluso elaboración y frigorificación de alimentos	$10 \leq c \leq 10K$	$10 \leq t \leq 20$	$0,5 \leq e \leq 3$	$7 \leq e \leq 25$	$80 \leq r \leq 90\%$ del resto
Enfriadores	$10 \leq c \leq 2000$	$10 \leq t \leq 30$	$0,2 \leq e \leq 1$	$2 \leq e \leq 15$	$80 \leq r \leq 95\%$ del resto
Climatización residencial y comercial incluso termobombas	$0,5 \leq c \leq 100$	$10 \leq t \leq 15$	$0,2 \leq e \leq 1$	$1 \leq e \leq 5$	$70 \leq r \leq 80\%$ del resto

Nota: Pérdidas en la distribución = 2 a 10% de las ventas anuales de refrigerantes (carga residual que queda en los tanques y pérdidas durante la transferencia (ICF 1998). Análisis de las emisiones de refrigerantes como resultado de la eliminación incorrecta de cilindros de 30 libras. Preparado por ICF Incorporated, Washington, DC. , 2 de junio de 1998).

Cabe señalar que cada país usará sus propios datos nacionales al preparar su inventario nacional de gases de efecto invernadero.

Fuente: Clodic (1999).

3.7.9 Subcategoría de fuentes de la climatización móvil

3.7.9.1 Aspectos metodológicos

La industria automotriz ha empleado HFC-134a para la climatización móvil (MAC) en vehículos nuevos desde 1995. La climatización móvil ofrece acondicionamiento de aire enfriado a los pasajeros en automóviles, camiones, trenes, tranvías y autobuses. Además, algunos camiones enfrían su zona de carga con un sistema automotor (compresor montado en el motor) usando HFC-134a.

Anteriormente, en el procedimiento usado en los sistemas de climatización móvil se descargaba el refrigerante en la atmósfera durante el mantenimiento. La necesidad de nuevos refrigerantes puede reducirse mucho aplicando un programa de recuperación/reciclaje de refrigerantes en el servicio técnico de los equipos de MAC.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La elección de métodos de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales (véase el árbol de decisiones de la figura 3.16, “Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de la climatización móvil). El enfoque general de nivel 2 para estimar las emisiones procedentes de todos los tipos de unidades de refrigeración y climatización se resume en las *Directrices del IPCC*, Vol. 3, sección 2.17.4.2, “Estimación de las emisiones de HFC y PFC procedentes del uso de equipos de refrigeración y climatización”, y también en la descripción de la *buena práctica* sobre refrigeración fija. La ecuación general para el nivel 2 es la siguiente:⁵⁶:

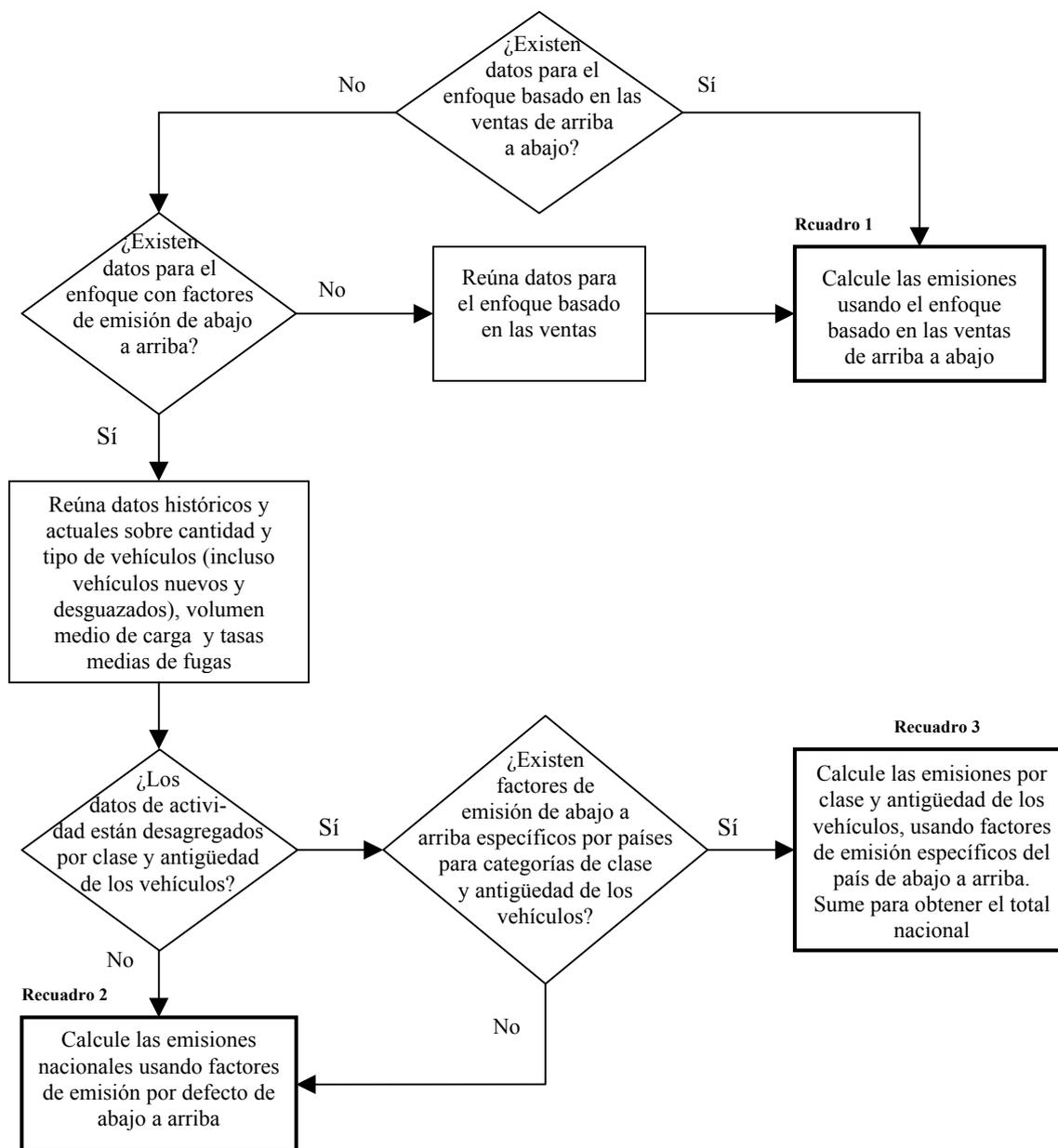
Ecuación 3.44

$$\text{Emisiones anuales de HFC-134a} = \text{Emisiones en la "primera carga"} + \text{Emisiones en el funcionamiento} + \text{Emisiones en la eliminación} - \text{Destrucción deliberada}$$

Las emisiones en la primera carga incluyen las emisiones de refrigerantes que se desprenden durante el llenado de todas las unidades de MAC (emisiones potenciales futuras) en ocasión del montaje por un fabricante de vehículos o por un instalador de sistemas de MAC después de la venta en el país, aunque los vehículos finalmente se exporten. Las emisiones en el funcionamiento incluyen las pérdidas anuales de todos los MAC en uso en un país, incluso las emisiones durante el mantenimiento, sin tener en cuenta dónde han sido fabricados. Las emisiones en la eliminación incluyen la cantidad de refrigerantes que se descargan de los sistemas de MAC desguazados.

⁵⁶ A los fines de esta subcategoría de fuentes, las emisiones “en la primera carga” son equivalentes al término emisiones “en el montaje” usado en la subcategoría de fuentes de la refrigeración fija.

Figura 3.16 Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de la climatización móvil



Enfoque de arriba a abajo

El enfoque de arriba a abajo de nivel 2 es el método más exacto, porque no necesita tantos datos, utiliza datos más sólidos y fiables y requiere menos supuestos. En el enfoque de arriba a abajo, las emisiones se estiman usando datos de las ventas de productos químicos para calcular la parte de las ventas totales de HFC-134a empleada por la industria de la climatización móvil para sustituir el refrigerante fugado a la atmósfera (p.ej., fabricantes de automotores, instaladores después de la venta y empresas de servicio técnico). Este valor, cuando se suma a las emisiones en la “primera carga” y en la eliminación, es igual a las emisiones totales anuales. La ecuación de arriba a abajo se presenta al final de esta sección en su forma completa. A continuación, la ecuación se desglosa en sus partes constituyentes.

Las emisiones en la primera carga se calculan usando un factor de emisión (FE) que representa la fracción de HFC-134a (p.ej., 0,005) que se descarga como emisiones fugitivas (pérdida en el proceso de montaje) la primera vez que se llenan los equipos:

ECUACIÓN 3.45

$$\text{Emisiones en la primera carga} = (\text{FE}) \cdot (\text{HFC-134a virgen anual para la primera carga de unidades de MAC nuevas})$$

Todo nuevo HFC-134a que no se haya descargado como emisiones fugitivas durante la primera carga y no haya sido incorporado a unidades de MAC nuevas, debe usarse por lo tanto para el mantenimiento de las unidades existentes que han tenido fugas durante el funcionamiento en el año anterior. Las emisiones en el funcionamiento pueden calcularse, entonces, conforme a la siguiente ecuación:

ECUACIÓN 3.46

$$\begin{aligned} \text{Emisiones en el funcionamiento} &= (\text{Total anual de HFC-134a virgen vendido a la industria de MAC}) \\ &- (\text{Total anual de HFC-134a virgen para la primera carga de unidades de MAC nuevas}) \end{aligned}$$

En esta ecuación se tiene implícitamente en cuenta el refrigerante reciclado y recuperado, porque reduce la cantidad total de material virgen necesario en el país o la región⁵⁷.

Las emisiones que se producen después del servicio final de las unidades de MAC son iguales a la cantidad total de HFC-134a presente en los vehículos desguazados durante el año, después de restar toda destrucción. Como condición límite, esta ecuación seguiría estimando las emisiones (por año de fabricación) en el futuro, aunque no se introduzca ningún nuevo HFC-134a en el sector de la MAC:

ECUACIÓN 3.47

$$\begin{aligned} \text{Emisiones en la eliminación} &= (\text{Tasa anual de desguace de vehículos con unidades de MAC que usan HFC-134a}) \cdot (\text{Cantidad de vehículos con unidades de MAC que usan HFC-134a}) \\ &\cdot (\text{Promedio de carga de HFC-134a /vehículo}) - \text{Destrucción} \end{aligned}$$

Como ya se ha señalado, no debería incluirse en esta ecuación el HFC-134a recuperado y reciclado captado durante el mantenimiento o rescate, porque ha reducido la cantidad de HFC-134a virgen (nuevo) necesaria en el país y de ese modo ha reducido implícitamente las emisiones. Restar en este punto el HFC-134a recuperado y reciclado llevaría a una subestimación de las emisiones.

Enfoque de abajo a arriba

El método de nivel 2 puede aplicarse también de abajo a arriba, estimando la cantidad de unidades de MAC en el país, la carga media por vehículo y aplicando los factores de emisión que representan las tasas de fuga. La ecuación de la primera carga es semejante a la del enfoque de arriba a abajo:

ECUACIÓN 3.48

$$\text{Emisiones de primera carga} = (\text{Total de HFC-134a cargado en el año } t) \cdot (k / 100)$$

La variable k es comparable a la variable FE usada en el enfoque de arriba a abajo, porque representa el porcentaje de carga inicial que se emite durante el montaje.

⁵⁷ Los países o regiones que practican el reciclaje durante el mantenimiento y la recuperación en el desguace de vehículos se beneficiarían considerablemente con la reducción de las emisiones totales. Se estima que el reciclaje en el mantenimiento y la recuperación en el desguace pueden reducir las emisiones totales en un 60%.

ECUACIÓN 3.49

$$\text{Emisiones en el funcionamiento} = (\text{Cantidad de existencias de HFC-134a en el año } t) \cdot (x / 100)$$

El factor de emisión x representa la tasa de emisiones anuales como porcentaje de la carga total. Esta ecuación debería aplicarse para diferentes tipos de unidades de MAC, porque las tasas de fuga dependen de la antigüedad y del tipo de los vehículos. Probablemente, las unidades de MAC más antiguas tendrán tasas de fuga más elevadas que las unidades nuevas. El total de HFC-134a en el parque automotor debería incluir todos los sistemas en funcionamiento en el país. Un programa de recuperación/reciclaje en el mantenimiento y desguace de vehículos reducirá sustancialmente la demanda de nuevos refrigerantes.

Para calcular las emisiones en la eliminación, es necesario conocer el promedio de vida útil (n) de los vehículos y la carga inicial n años atrás. Entonces pueden calcularse las emisiones en la eliminación, de conformidad con la siguiente ecuación:

ECUACIÓN 3.50

$$\text{Emisiones en la eliminación} = (\text{HFC-134a cargado en el año } t - n) \cdot (y / 100) \cdot (1 - z / 100)$$

La variable y es el porcentaje de la carga inicial que queda en las unidades de MAC a la fecha de la eliminación y z es igual a la eficiencia de recuperación en la fecha de eliminación. Si se recicla algún refrigerante durante la eliminación, el porcentaje debería restarse del total. Si no hay ningún reciclaje, z será cero.

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN**Enfoque de arriba a abajo**

El enfoque de arriba a abajo sólo requiere un factor de emisión para las primeras emisiones en la primera carga. La *buena práctica* es aplicar un factor de 0,5% (0,005) si no se dispone de datos medidos. Debería documentarse plenamente el uso de otros supuestos.

Enfoque de abajo a arriba

Los organismos encargados de los inventarios que usen el enfoque de abajo a arriba deberían hacer el máximo esfuerzo por determinar los valores actuales específicos de cada país para los parámetros x , n , k , y z . Si se usan valores específicos de un país, deben documentarse plenamente. Si no se cuenta con valores específicos del país, en el cuadro 3.23, "Parámetros de emisión por defecto para sustitutos de SDO procedentes de la subcategoría de fuentes de la MAC (enfoque de abajo a arriba)", se enumeran los parámetros de emisión por defecto tomados de las *Directrices del IPCC* y se actualizan algunos parámetros basados en experiencias recientes en la industria.

CUADRO 3.23		
PARÁMETROS DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA SUSTITUTOS DE SDO		
PROCEDENTES DE LA SUBCATEGORÍA DE FUENTES DE LA MAC (ENFOQUE DE ABAJO A ARRIBA)		
Parámetros de emisión de abajo a arriba	Valores por defecto del IPCC	Valores por defecto actualizados
Vida útil promedio del vehículo (n)	12 años	12 años
Tasa de emisión del sistema de MAC (x)	10-30%	10-20%
Tasa de emisión de la primera carga (k)	4-5%	0.5%
Carga restante típica (y)	75%	40%
Fracción recuperada ^a (z)	0%	0%
^a La fracción recuperada por un programa de recuperación/reciclaje está en función de la eficiencia del equipo de recuperación, de la habilidad del técnico (cantidad de HFC-134a potencial recuperado/reciclado) y de la efectividad del programa (fracción de las operaciones de mantenimiento que adoptan el programa). Fuente: Baker (1999).		

La tasa de emisión del sistema de MAC (x) depende en gran medida de la presencia de programas de recuperación y reciclaje. Si un país dispone de ese tipo de programas, es apropiado el extremo inferior del rango (o sea, 10%). Si se carece de programa, el valor puede aproximarse más al 20%. La elección de una tasa de emisión del sistema está ligada a la elección de la fracción recuperada (z). Si un país posee un programa de recuperación y reciclaje, es probable que se reduzcan las emisiones, tanto durante el mantenimiento como al final de la vida útil del sistema de climatización de vehículos. En consecuencia, el organismo encargado del inventario en ese país debería usar un valor de tasa de reciclaje superior a cero para z. Del mismo modo, un organismo encargado del inventario en un país sin programa de recuperación/reciclaje debería elegir un valor más alto para x y un valor de 0% para z.

Verificación de las emisiones

Los resultados con enfoques “de arriba abajo” y “de abajo a arriba” deberían coincidir dentro de un 10%.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Enfoque de arriba a abajo

En el enfoque de arriba a abajo, los datos de actividad incluyen la cantidad de HFC-134a vendida a la industria de la MAC, la cantidad usada para la primera carga, las variables necesarias para determinar la cantidad de HFC-134a en los vehículos desguazados y la cantidad de HFC-134a destruido (si es el caso). Se examinan a continuación los aspectos de recopilación de datos relacionados con cada uno de los términos.

- El **total de HFC-134a virgen** comprende sólo los refrigerantes recién producidos vendidos a usuarios finales de MAC. Entre los usuarios finales se incluyen los fabricantes de automotores, las instaladoras de sistemas después de la venta y los talleres de reparación que cargan los sistemas con refrigerante antes de la venta. El HFC-134a que figura en el inventario de un distribuidor de refrigerantes y los refrigerantes que no se hayan vendido para ser usados en sistemas de climatización móvil no deberían incluirse en la estimación del año en curso. Si existe gran cantidad de usuarios finales, los organismos encargados de los inventarios deberían obtener datos de ventas directamente de los fabricantes de productos químicos y de los distribuidores de refrigerantes. Los datos sobre los productos químicos vírgenes importados deberían recabarse a los funcionarios de aduanas o a los importadores y distribuidores.
- El **total de primera carga con HFC-134a** es la cantidad total de HFC-134a comprada y usada para cargar sistemas nuevos de climatización móvil por los fabricantes de vehículos (OEM, del inglés Original Equipment Manufacturers) o los instaladores de sistemas de MAC después de la venta. Esto incluye las pérdidas durante el proceso de llenado (emisiones en la primera carga). En los países con industrias automotrices nacionales, los fabricantes de automotores deberían poder suministrar esos datos. Se deberían poder conseguir más datos de los instaladores de unidades de climatización después de la venta⁵⁸.
- **Emisiones en la eliminación:** Si no se conoce la cantidad real de vehículos desguazados que contienen HFC-134a, ese dato debería estimarse a base de la *tasa de desguace* de vehículos, que es la proporción en que se retiran vehículos del servicio en el país o en la región. De ser posible, las tasas de desguace deberían desagregarse por año del modelo y debería aplicarse la tasa media de desguace para los años del modelo en que los MAC fueron cargados con HFC-134a. Si no puede obtenerse la tasa de desguace del vehículo en las estadísticas de matriculación de vehículos, puede usarse el 8% como valor por defecto para toda la flota. La cantidad total de vehículos matriculados en el país debería obtenerse de las estadísticas oficiales del gobierno. La cuota de la flota total equipada con sistemas de MAC puede obtenerse de los fabricantes e importadores de vehículos. La penetración del HFC-134a en el mercado de la MAC debería estimarse a base del dictamen de expertos de la industria.
- La **carga media de HFC-134a** es el promedio ponderado de carga de refrigerante en vehículos en el país. El valor por defecto en las *Directrices del IPCC* es de 0,8 kg por vehículo.
- La **destrucción de HFC-134a** no se practica ampliamente en la actualidad. Pero si un organismo encargado del inventario tiene datos sobre esta práctica, debería incluirse en la ecuación y documentarse para asegurar que no se sobrestimar las emisiones.

Los parámetros por defecto se muestran a continuación, en el cuadro 3.24, “Parámetros de emisión por defecto del IPCC para sustitutos de SDO procedentes de la subcategoría de fuentes de la MAC (enfoque de arriba a abajo)”:

⁵⁸ Cuando se expiden automotores nuevos, se considera que el refrigerante está en un recipiente (o sea, el sistema de climatización móvil) y no produce emisiones.

CUADRO 3.24	
PARÁMETROS DE EMISIÓN POR DEFECTO DEL IPCC PARA SUSTITUTOS DE SDO PROCEDENTES DE LA SUBCATEGORÍA DE FUENTES DE LA MAC (ENFOQUE DE ARRIBA A ABAJO)	
Parámetros de emisiones de arriba a abajo	Valores por defecto
Carga media de HFC-134a	0,80 kg por vehículo ^a
Tasa de desguace de vehículos	8%
Refrigerante descargado durante la “primera carga” de un vehículo nuevo	FE = 0,5% de la carga media del sistema
^a Esto se aplica a los automotores de pasajeros. Para los camiones livianos, debería usarse un valor de 1,2 kg/vehículo (Atkinson, 1999). Fuente: Atkinson y Baker (1999).	

Enfoque de abajo a arriba

El enfoque de abajo a arriba requiere datos sobre la cantidad de HFC-134a cargado por año, las existencias de HFC-134a en todas las unidades de MAC cada año y la cantidad que queda al final de la vida útil de la MAC, como se indica a continuación:

- El **total de HFC-134a** usado para la primera carga de nuevas unidades de MAC es el mismo valor que se necesita para el enfoque de arriba a abajo y puede obtenerse de los fabricantes de vehículos y de los instaladores de MAC después de la venta.
- Las **existencias de HFC-134a** en vehículos en funcionamiento durante el año es igual a la cantidad de vehículos en el total de la flota que usan HFC-134a multiplicada por la carga media por vehículo. Esta información debería ser accesible a partir de los datos anuales aportados por los fabricantes de automotores en los últimos años. El valor por defecto de 0,8 kg/vehículo del enfoque de arriba a abajo puede usarse también para el enfoque de abajo a arriba, si no se cuenta con datos específicos de la flota.
- La **cantidad de HFC-134a** que había sido cargada *originalmente* n años atrás en las unidades de MAC debería incluir tanto las unidades producidas y cargadas en el país como las unidades importadas. Como ocurre con la carga total, para determinar las cargas originales se requieren datos históricos sobre el primer llenado. Dado que los HFC sólo han sido usados extensamente en la MAC en años recientes, ahora sólo es necesario retroceder unos pocos años para obtener los datos requeridos.

EXHAUSTIVIDAD

En el enfoque de arriba a abajo, no es necesario tener en cuenta los automotores importados ni las unidades de climatización importadas, porque son esencialmente “recipientes”. Las emisiones procedentes de la primera carga se contabilizan en el país de fabricación. Pero una vez importados los vehículos, sus emisiones son contabilizadas por el país importador, a base del refrigerante usado para el mantenimiento y de sus “emisiones después del mantenimiento”, estimadas a partir de las matrículas totales de vehículos (incluidas las importaciones). De igual modo, no es necesario presentar las exportaciones como una clase de sistemas aparte, porque están representadas en la ecuación. Sólo se cargan en la ecuación al país o región de fabricación las emisiones del proceso de primer llenado (0,5% de la carga del sistema) y todas las emisiones futuras son contabilizadas por el país o la región importadores.

Para el enfoque de abajo a arriba, la exhaustividad dependerá de la cobertura de los datos de actividad sobre los automotores, en particular de datos de importación y datos sobre las unidades de MAC instaladas después de la venta que estén en funcionamiento.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones procedentes de la climatización móvil deberían calcularse usando el mismo método y fuentes de datos para cada año de la serie temporal. Cuando no se cuente con datos coherentes para aplicar el mismo método en algún año de la serie temporal, esas lagunas deberían calcularse nuevamente según la orientación suministrada en la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

La incertidumbre en el enfoque de abajo a arriba será considerablemente mayor que en el enfoque de arriba a abajo, porque no existen exámenes internos para asegurar que la contabilidad está completa. El método de arriba a abajo ofrece un límite superior, de modo que es escasa la probabilidad de que el verdadero valor exceda la estimación de arriba a abajo. Los organismos encargados de los inventarios deberían solicitar asesoramiento industrial sobre las incertidumbres, usando los enfoques para obtener dictámenes de expertos, como se expone en el capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”.

3.7.9.2 Presentación de datos y documentación

Deberían recopilarse y presentarse los datos fundamentales que figuran en el cuadro 3.25, “Buenas prácticas en la documentación para la climatización móvil”.

En el método de abajo a arriba, es importante que los organismos encargados de los inventarios presenten información sobre el método para tener en cuenta la recuperación de HFC-134a durante el mantenimiento (o sea, la elección del valor x). Debería documentarse claramente el nexo con el valor para la fracción recuperada (z).

3.7.9.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buen práctica* realizar exámenes de control de la calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad, como se expone en los procedimientos de nivel 2 en el capítulo 8 y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

CUADRO 3.25
BUENAS PRÁCTICAS EN LA DOCUMENTACIÓN PARA LA CLIMATIZACIÓN MÓVIL

Fuente de datos	Datos que deben presentarse	De arriba a abajo	De abajo a arriba	Fuente de datos ^a
Estadísticas de gobierno	Cantidad de vehículos desguazados	X	X	G
	Matrículas de automotores en el país	X	X	G
Distribuidores de refrigerantes	Todo el HFC-134a virgen vendido a usuarios finales en el mercado de los equipos de MAC	X		I/G
Fabricantes de vehículos	Todo el HFC-134a virgen comprado directamente a productores de refrigerantes (incluso el HFC-134a importado)	X		I
	Todo el refrigerante usado para la “primera carga” de nuevos sistemas de climatización con HFC-134a (t para el método de abajo a arriba)	X	X	I
	Carga media ponderada de HFC-134a en el sistema de climatización	X	X	I
	Vehículos vendidos y porcentaje equipado con sistemas de climatización con HFC-134 ^a	X	X	I
Importadores de vehículos	La cantidad total de vehículos importados y el porcentaje equipado con sistema de climatización con HFC-134a	X	X	I/G
Fabricantes/instaladores de sistemas después de la venta	Todo el HFC-134a virgen usado para la “primera carga” de sistemas nuevos (t para el método de abajo a arriba)	X	X	I
	Cantidad de sistemas de climatización con HFC-134a vendidos en el país o región	X	X	I/G
Fabricantes e instaladores de sistemas nuevos	Las emisiones reales del proceso, si difieren considerablemente de las emisiones por defecto	X	X	I
Otra información para el método de abajo a arriba	Fración de HFC-134a recuperada durante la eliminación (z)		X	I/G
	Tasa de fuga anual para los sistemas existentes (x)		X	I
	Promedio de vida útil del vehículo (n)		X	I
	Carga inicial de los sistemas en el año t – n		X	I
	Cantidad de HFC-134a en los sistemas a la fecha de eliminación (y)		X	I
	Carga inicial de los sistemas de climatización en el año t – n		X	I

^a ‘I’ = Industria, ‘G’ = Gobierno.

Fuente: Dictamen del Grupo de expertos (véanse los copresidentes, editores y expertos, Emisiones de sustitutos de sustancias destructoras del ozono).

3.7.10 Subcategoría de fuentes de la protección contra incendios

3.7.10.1 Aspectos metodológicos

Hay dos tipos en general de equipos de protección contra incendios (extintores) que usan halones y sus sustitutos parciales HFC y PFC: equipos portátiles (por chorro) y equipos fijos (por inundación). Los HFC y PFC se usan principalmente como sustitutos de los halones en los equipos por inundación.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Los equipos de protección contra incendios están diseñados para descargar su carga inicial durante un incidente de incendio real. Algunos estudios han demostrado que su uso anual en incendios representa menos del 2% de la base instalada. Otras emisiones que resultan de las fugas y la descarga accidental representan menos del 5% de la base instalada por año. Debido al costo de las sustancias usadas como agentes extintores y como resultado de las lecciones aprendidas en la eliminación gradual de los halones, se recupera típicamente un porcentaje muy alto (aproximadamente el 85%) de los HFC y los PFC al final de la vida útil de los equipos. La vida útil de los equipos de protección contra incendios suele basarse en la vida útil de la aplicación que se protege. Como lo más frecuente es que los sistemas de protección contra incendios que emplean HFC o PFC se usen para proteger equipos electrónicos, su vida útil es normalmente inferior a 10 años, debido a los rápidos cambios en la tecnología de los equipos electrónicos. La elección de métodos de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales (véase el árbol de decisiones en la figura 3.17, “Árbol de decisiones para las emisiones de sustitutos de SDO procedentes de la subcategoría de fuentes de la protección contra incendios”). En el método citado en las *Directrices del IPCC*, se calculan las emisiones como función de los HFC y PFC cargados en equipos nuevos durante el año:

ECUACIÓN 3.51

$$\text{Emisiones de HFC o PFC en el año } t = (\text{HFC/PFC usados para cargar equipos nuevos de protección contra incendios}) \cdot (\text{Factor de emisión en porcentaje})$$

El factor de emisión representa la fracción de HFC y PFC recién cargados que se descarga durante el año. En realidad, los HFC y PFC se emiten por un período superior a un año, de modo que este factor de emisión también representa las emisiones procedentes de los equipos cargados durante años anteriores. Elegir un factor de emisión basado en la producción anual para reflejar un proceso de emisiones en muchos años puede generar un error considerable⁵⁹.

Es una *buena práctica* modelar las emisiones a base de un enfoque de arriba a abajo semejante al usado por el Comité de Opciones Técnicas - Halones del Protocolo de Montreal para estimar las emisiones de halones. Sin embargo, hasta que ese modelo esté disponible para usarlo con sustitutos de SDO, la ecuación del IPCC debería modificarse para tener en cuenta los equipos cargados con HFC y PFC en años anteriores. Con esta modificación, la ecuación es comparable al enfoque de nivel 2 de arriba a abajo expuesto para la refrigeración fija y la climatización móvil⁶⁰:

ECUACIÓN 3.52

$$\text{Emisiones} = \text{Ventas anuales de HFC/PFC para la protección contra incendios} \\ - (\text{HFC/PFC usados para cargar equipos nuevos de protección contra incendios} - \text{HFC o PFC usados originalmente para cargar los equipos de protección contra incendios que se retiran})$$

⁵⁹ La tasa de emisiones como función de la base de equipos es más importante que la tasa de emisiones como función de la producción. Como se ha experimentado con los halones, cuando cesó la producción las emisiones no cesaron, pero siguieron manteniendo una pauta coherente fundada en la base de equipos.

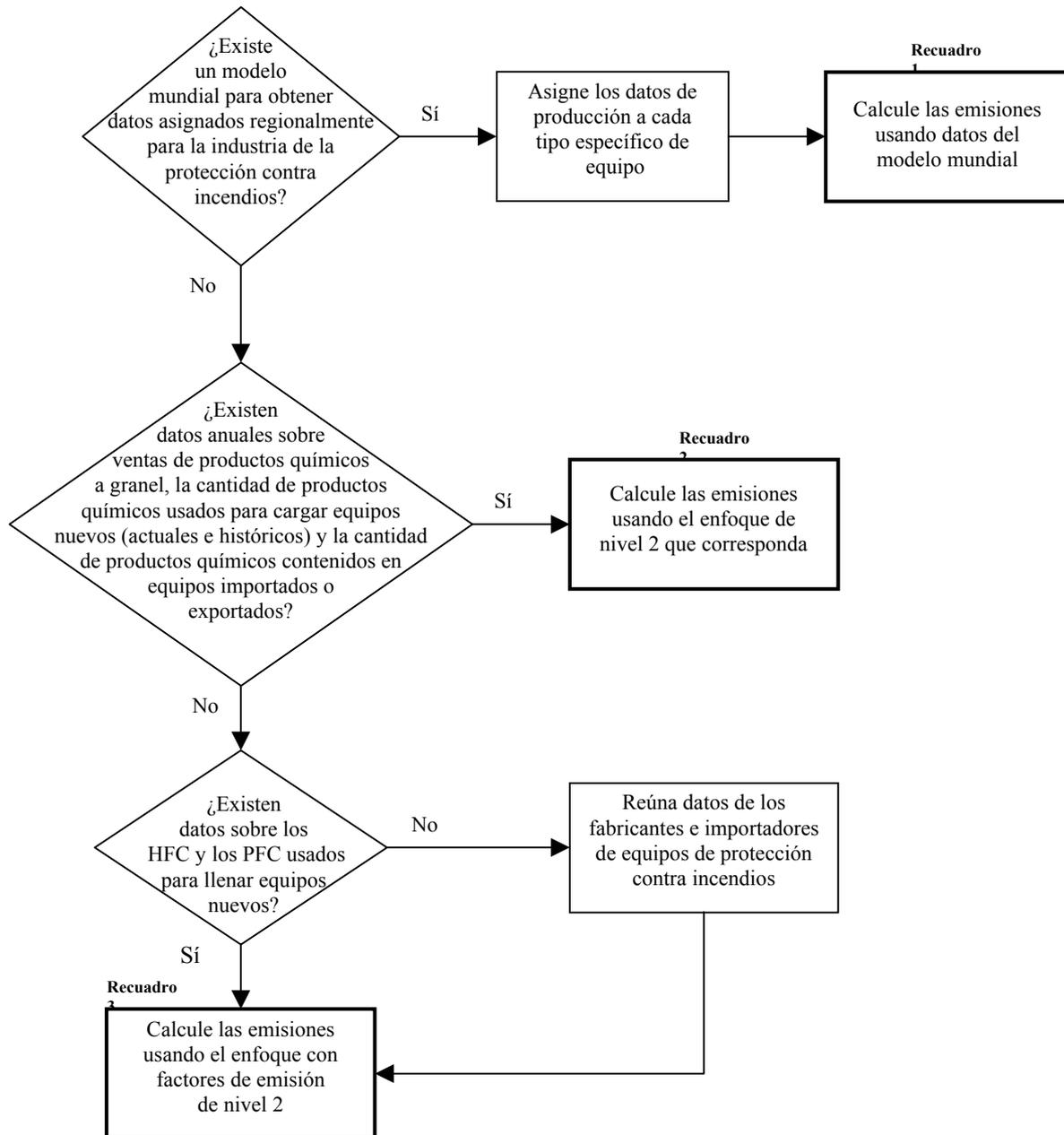
⁶⁰ El enfoque basado en las ventas aplicado a la subcategoría de fuentes de la protección contra incendios es esencialmente el mismo enfoque que para la subcategoría de fuentes de la refrigeración fija.

La diferencia entre la cantidad anual de cada HFC/PFC vendido a la industria de la protección contra incendios y el cambio de volumen de las existencias totales de cada HFC/PFC equivale a la cantidad de productos químicos emitidos a la atmósfera. El cambio en las existencias de cada HFC/PFC es igual a la diferencia entre las cargas totales de los equipos nuevos y los que se retiran.

Esta ecuación debería aplicarse a cada HFC/PFC usado en los equipos de protección contra incendios. El total de las emisiones equivalentes en carbono es igual a la suma de las emisiones equivalentes en carbono de todos los HFC y PFC. Es fundamental rastrear la exportación/importación de equipos de protección contra incendios que usan HFC o PFC para asegurarse de que la ecuación modificada dé estimaciones exactas de las emisiones.

Un enfoque de nivel 2 de abajo a arriba no es apropiado para la subcategoría de fuentes de la protección contra incendios, porque en la mayoría de los países no existen los datos de actividad necesarios. En los códigos de aduanas y estadísticas de gobierno existentes no se establecen diferencias entre equipos que contienen sustitutos de SDO y otros compuestos. Por ejemplo, aunque una unidad de protección contra incendios se tendría en cuenta, en la actualidad no existe ningún procedimiento específico para diferenciar y contabilizar las que usan un sustituto de SDO frente a las que usan otro tipo de productos químicos.

Figura 3.17 Árbol de decisiones para las emisiones de sustitutos de SDO procedentes de la subcategoría de fuentes de la protección contra incendios



ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

El método de nivel 2 de arriba a abajo no requiere factores de emisión. Pero si no se cuenta con datos de actividad para los años anteriores y se requieren factores de emisión, deberían usarse los factores de emisión presentados en las *Directrices del IPCC* y que se muestran en el cuadro 3.26, “Parámetros de emisión por defecto del IPCC para la subcategoría de fuentes de la protección contra incendios (enfoque de abajo a arriba).

CUADRO 3.26 PARÁMETROS DE EMISIÓN POR DEFECTO DEL IPCC PARA LA SUBCATEGORÍA DE FUENTES DE LA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS (ENFOQUE DE ABAJO A ARRIBA)	
Tipo de equipo	Porcentaje de HFC/PFC instalados
Por chorro (portátil)	5%
Por inundación (fijo)	5%
Fuente: HTOC (1998).	

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad para el método de arriba a abajo se concentran en la distribución de los productos químicos más que en las fuentes de las emisiones. En el enfoque de nivel superior, se requieren todos los tipos siguientes de datos. Si se usa el enfoque de los factores de emisión por defecto, sólo se requiere el segundo tipo de datos:

- **Ventas e importaciones anuales de cada HFC y PFC en la industria de la protección contra incendios:** Los datos sobre las ventas nacionales pueden obtenerse de los productores de HFC/PFC. Los funcionarios de aduanas y los distribuidores de productos químicos deberían poder aportar datos sobre los productos químicos importados.
- **Cantidad de cada HFC y PFC usado para cargar nuevos equipos de protección contra incendios:** Estos datos pueden estimarse usando información suministrada por los fabricantes/importadores de equipos de protección contra incendios sobre la carga total de los equipos que fabrican/importan.
- **Cantidad de cada HFC y PFC usados originalmente para cargar los equipos de protección contra incendios que se retiran:** Los fabricantes/importadores de equipos de protección contra incendios pueden aportar datos sobre el promedio de vida útil de los productos y la carga inicial de los equipos que se retiran. Pero la duración de los equipos puede ser larga, quizás de hasta 35 años, y los sustitutos de SDO sólo han sido introducidos en la industria recientemente. En consecuencia, actualmente sólo puede haber una cantidad mínima de HFC y PFC contenidos en los equipos que se retiran.

En 1991 se elaboró un modelo de arriba a abajo para estimar las emisiones mundiales de halones, basado en la magnitud de los halones contenidos en los equipos y en la provisión que quedaría disponible a partir de la recuperación y el reciclaje⁶¹. Más adelante, podría elaborarse un modelo semejante para determinar la parte de la producción mundial de HFC/PFC vendida a la industria de la protección contra incendios y posteriormente esta producción podría asignarse a las distintas regiones del mundo⁶². Ese modelo podría ayudar a los países que experimentan dificultades para obtener datos nacionales sobre HFC/PFC a recurrir a los datos de la industria de la protección contra incendios.

EXHAUSTIVIDAD

Los organismos encargados de los inventarios deberían asegurarse de que se incluyan en la estimación todos los HFC y PFC usados en la industria de la protección contra incendios. Si los datos sobre ventas e importaciones de productos químicos son completos, la estimación final también debería ser completa.

⁶¹ Ese modelo fue publicado en el Informe del Comité de Opciones Técnicas – Halones (HTOC) del Protocolo de Montreal en 1992 y fue ampliamente aceptado en esa época.

⁶² El grupo de expertos recomendó que en el modelo se incluyeran las diez regiones siguientes: Norteamérica, Europa, Japón, Australia/Nueva Zelanda, Subcontinente indio, Asia Nororiental, ASEAN, África incluyendo Turquía, Centro y Sudamérica, y los países con economías en transición (PET).

La producción mundial agregada será siempre igual a las emisiones mundiales agregadas más el agregado total de los sustitutos de SDO contenidos en los equipos. Para los organismos encargados de los inventarios que utilicen un modelo mundial en el futuro, las estimaciones serán completas si se asignan exactamente los datos mundiales y regionales.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

En algunos países, quizás sea difícil determinar los datos de actividad históricos sobre los HFC y PFC cargados en equipos nuevos, debido a la reciente introducción de dichas sustancias. Si los organismos encargados de los inventarios usan los factores de emisión preliminares para esos años basados en los datos históricos sobre los halones y luego pasan al enfoque basado en las ventas de productos químicos, deberían adoptar la *buena práctica* de asegurar la coherencia de la serie temporal, como se describe en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

El enfoque de arriba a abajo de nivel 2 será más exacto que el enfoque de factor de emisión simplificado, porque las emisiones no equivalen a un porcentaje fijo de la producción anual y un factor de emisión no puede dar cuenta correctamente de las emisiones procedentes de equipos más antiguos. La exactitud del enfoque de arriba a abajo dependerá de la calidad de los datos sobre las ventas de productos químicos. Debería ser posible estimar las emisiones anuales con $\pm 10\%$ usando este método.

Podría preverse un alto grado de certidumbre para el modelo mundial, porque se basará en la producción conocida y suministra un balance material completo. En todo momento, la producción mundial agregada será siempre igual a las emisiones mundiales agregadas más el total agregado de los sustitutos de SDO contenidos en los equipos. La incertidumbre es aun mayor en la desagregación de los datos regionales y específicos de países.

3.7.10.2 Presentación de datos y documentación

El equilibrio entre la preservación de la confidencialidad y la transparencia de los datos es un aspecto importante, especialmente en una subcategoría de fuentes de escaso uso, como la protección contra incendios. Un importante sustituto de SDO es fabricado por un solo productor, en cantidades muy inferiores a las de los sustitutos de SDO usados en otras subcategorías de fuentes. Quizás una cuidadosa agregación de los datos ponderados del PCA podría ser un medio de resolver esta cuestión.

3.7.10.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buena práctica* realizar exámenes de control de la calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad como se expone en la sección 8.7, “Procedimientos específicos de CC para cada categoría de fuentes (nivel 2)” del capítulo 8 y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados del inventario a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Además de la orientación que figura en el capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, se resumen a continuación procedimientos específicos importantes para esta categoría de fuentes. El potencial de validación mundial de la cantidad de productos químicos utilizados y sus fuentes no puede usarse para justificar los datos de cada país en particular. Pero el control de calidad puede efectuarse mediante verificaciones cruzadas de las emisiones, usando datos regionales y mundiales, ya que los datos de los países son un subconjunto de los mismos. El acuerdo sobre los factores, alcanzado por consenso en el plano regional y mundial, mantendrá la integridad del modelo general.

3.7.11 Subcategoría de fuentes de otras aplicaciones

3.7.11.1 Aspectos metodológicos

Los HFC y los PFC representan una gran variedad de gases que por sus propiedades resultan atractivos para diversas aplicaciones especiales no comprendidas en otras subcategorías de fuentes. Entre ellas figuran las pruebas en electrónica, el traspaso de calor, el fluido dieléctrico, aplicaciones médicas y potencialmente muchas nuevas aplicaciones aún no desarrolladas. Entre esas aplicaciones existen también algunos usos históricos de los PFC, así como nuevos usos de los HFC. Esas aplicaciones tienen tasas de fugas que oscilan entre un 100% que puede emitirse en el año de aplicación y alrededor del 1% por año.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

La elección de métodos de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales (véase el árbol de decisiones de la figura 3.18, “Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de otras aplicaciones”). Los usuarios finales de estas aplicaciones especiales serán muy diversos. En consecuencia, quizás no sea factible investigar cada una de esas aplicaciones por separado. Se sugiere, en cambio, dividir esas otras aplicaciones varias en aplicaciones emisoras semejantes a los solventes y los aerosoles, y aplicaciones contenidas menos emisoras, semejantes a las espumas de poro abierto y los refrigeradores. El desglose del consumo anual de gas que corresponda a una u otra categoría debería determinarse mediante una encuesta de las aplicaciones como uso final.

Se sugiere el siguiente reparto del uso por defecto:

- Emisoras = X% del consumo total
- Contenidas = (100 – X)% del consumo total

Se considera, sucesivamente, la modelización de ambas circunstancias.

Aplicaciones emisoras

Es una *buena práctica* usar un método de arriba a abajo, similar a los métodos descritos para los aerosoles y los solventes. Durante el uso de fluidos en estas aplicaciones, se emite el 100% del producto químico seis meses después de la venta, término medio. En otras palabras, como en los usos de los aerosoles, las emisiones en el año t pueden calcularse de conformidad con la ecuación para los solventes y los aerosoles, del modo siguiente:

ECUACIÓN 3.53

$$\text{Emisiones de HFC y PFC en el año } t = [\text{Cantidad de HFC y PFC vendidos en el año } t \cdot (\text{FE})] + [\text{Cantidad de HFC y PFC vendidos en el año } (t - 1) \cdot (1 - \text{FE})]$$

El factor de emisión (FE) representa la fracción del producto químico emitido durante el primer año de venta. Por definición, las emisiones en dos años deben ser iguales al 100%. Esta ecuación debería aplicarse a cada producto químico individualmente. El total de emisiones equivalentes de CO₂ es igual a la suma de las emisiones equivalentes de CO₂ de cada producto químico.

Aplicaciones contenidas

Algunas aplicaciones tienen tasas de pérdida muy inferiores. Cuando se cuenta con datos de abajo a arriba, se requerirá un modelo separado de las emisiones para ajustarlas según esta tasa inferior de fugas. Cuando no existen datos, debería emplearse un modelo de abajo a arriba con factores de emisión por defecto. De modo que la ecuación para las emisiones anuales es la siguiente:

ECUACIÓN 3.54

$$\text{Emisiones} = \text{Emisiones en la fabricación del producto} + \text{Emisiones durante la vida útil del producto} + \text{Emisiones en la eliminación del producto}$$

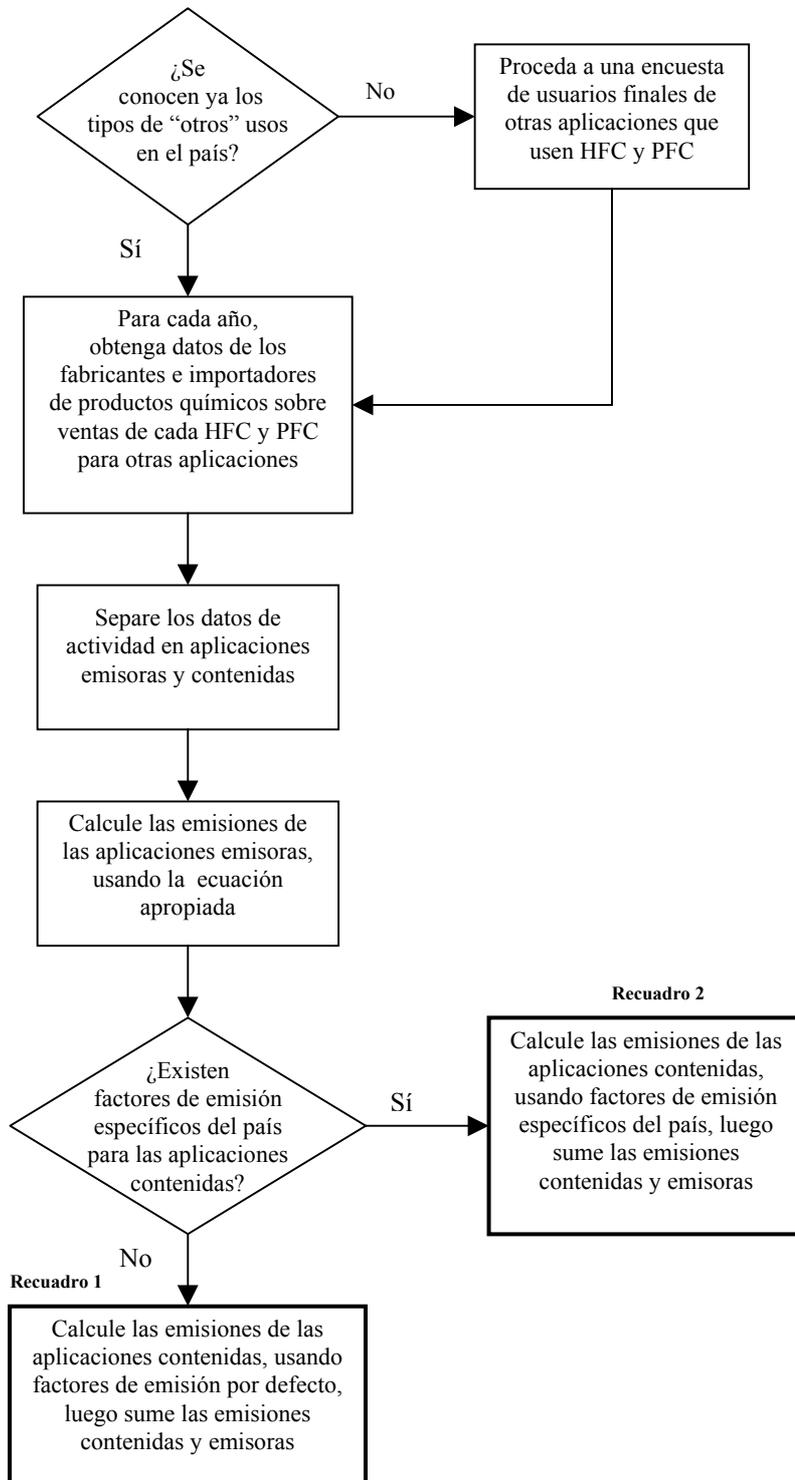
Donde:

Emisiones en la fabricación del producto = Ventas anuales • Factor de emisión en la fabricación

Emisiones durante la vida útil del producto = Banco • Tasa de fugas

Emisiones en la eliminación del producto = Ventas anuales • Factor de emisión en la eliminación

Figura 3.18 Árbol de decisiones para las emisiones reales (nivel 2) procedentes de la subcategoría de fuentes de otras aplicaciones



ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Aplicaciones emisoras

A falta de datos empíricos sobre uso final, es una *buena práctica* usar el factor de emisión por defecto del IPCC de 50%. Esto significa que la mitad de la carga inicial se emite durante el primer año y el resto durante el segundo año. Si se usan otros factores de emisión, deberían documentarse plenamente.

Aplicaciones contenidas

El enfoque sugerido consiste en obtener los datos directamente de los sectores de uso final. Si es imposible obtener esos datos, se presentan a continuación los valores por defecto en el cuadro 3.27, “Parámetros de emisión por defecto del IPCC para las aplicaciones contenidas (subcategoría de fuentes de otras aplicaciones)”. En estos valores por defecto se supone una tasa anual de fugas baja y una larga vida útil de los equipos, como cabe esperar de las aplicaciones contenidas.

CUADRO 3.27 PARÁMETROS DE EMISIÓN POR DEFECTO DEL IPCC PARA LAS APLICACIONES CONTENIDAS (SUBCATEGORÍA DE FUENTES DE OTRAS APLICACIONES)	
Parámetro de emisión	Valor por defecto
Factor de emisión en la fabricación	1% de las ventas anuales
Tasa de fugas	2% de las ventas anuales
Factor de emisión en la eliminación	5% de las ventas anuales
Vida útil de los equipos	15 años
Fuente: Gamlen <i>et al.</i> (1986).	

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

El valor de las ventas totales que se orientan a otros usos debería obtenerse directamente de los productores e importadores de HFC/PFC. Pueden recabarse datos sobre la importación de HFC y PFC a los distribuidores. La mayoría de los países importarán una cantidad importante de esas sustancias, porque hay pocos productores. También pueden recopilarse datos de los usuarios finales, pero esto será difícil. La fracción de las ventas que se orienta a usos emisores, a diferencia de los usos contenidos, debería determinarse con una encuesta de usos finales.

Para las aplicaciones contenidas, también es necesario determinar el volumen del banco de fluidos acumulado. El enfoque que se sugiere consiste en usar los datos directamente de las subcategorías de fuentes de uso final para determinar el volumen del banco. Si es imposible obtener esos datos, es una *buena práctica* usar un valor por defecto de 10 veces las ventas anuales. Así, las emisiones anuales incluyendo las pérdidas en la fabricación y en la eliminación serán en promedio el 26% de las ventas anuales de productos químicos para aplicaciones contenidas, a diferencia de las aplicaciones emisoras, donde se pierde el 100% de las ventas anuales.

EXHAUSTIVIDAD

Será difícil lograr la exhaustividad, porque no existe una lista fija de otras fuentes. Los organismos encargados de los inventarios deberían investigar los posibles usos finales obteniendo información cualitativa de los fabricantes e importadores de productos químicos acerca de otras industrias que compran HFC y PFC.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones de sustitutos de SDO procedentes de otras aplicaciones deberían calcularse usando el mismo método y fuentes de datos para cada año de la serie temporal. Cuando no se disponga de datos coherentes para algún año de la serie temporal, esa laguna debería calcularse nuevamente siguiendo las orientaciones provistas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Como hay una cantidad reducida de fabricantes de productos químicos y el alto costo del gas es un incentivo para mantener registros, los datos de actividad deberían ser bastante exactos. Hay más incertidumbre para determinar el desglose entre las aplicaciones emisoras y las contenidas, particularmente cuando no se realiza una encuesta del uso final. En las aplicaciones emisoras, el factor de emisión por defecto de 50%/año aplicado en

dos años será más exacto si las ventas de gas son relativamente constantes. Los factores de emisión para las aplicaciones contenidas presentan mayor incertidumbre, aunque probablemente los datos de los sectores de uso final sean más exactos que los valores por defecto. Es una *buena práctica* examinar las estimaciones sobre la incertidumbre con el proveedor de productos químicos y los sectores de usuarios finales pertinentes, utilizando los enfoques para obtener dictamen de expertos que se resumen en el capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”.

3.7.11.2 Presentación de datos y documentación

Los organismos encargados de los inventarios deberían presentar el total de emisiones procedentes de estas otras subcategorías de fuentes y enumerar cualitativamente los tipos de usos incluidos en esta subcategoría de fuentes, si están disponibles. También debería presentarse la fracción de productos químicos usados en las aplicaciones emisoras frente a las aplicaciones contenidas, junto con todo factor de emisión específico de cada país. Puede haber cuestiones de confidencialidad, debido a la cantidad limitada y a la ubicación de los fabricantes de productos químicos, que afectarán el grado de transparencia. En tal caso, para preservar la confidencialidad, quizás sea necesario evitar la mención concreta de cada gas y los informes deberían indicar las toneladas agregadas de emisiones equivalentes de carbono, ponderadas por el potencial de calentamiento de la atmósfera.

3.7.11.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buena práctica* realizar exámenes de control de la calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad, como se expone en la sección 8.7, “Procedimientos específicos de CC para cada categoría de fuentes (nivel 2)”, del capítulo 8 y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Además de la orientación que se ofrece en el capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, se resumen a continuación procedimientos específicos importantes para esta subcategoría de fuentes:

- Para un control y garantía de la calidad exactos, se sugiere recopilar datos tanto de arriba a abajo como de uso final.
- Para permitir una evaluación independiente del grado de calidad de los datos y de los supuestos fundamentales, debería indicarse la cantidad de fabricantes, distribuidores y usuarios finales entrevistados.

ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE FC-23 PROCEDENTES DE LA FABRICACIÓN DE HCFC-22

3.8.1 Aspectos metodológicos

El trifluorometano (HFC-23 o CHF₃) se genera como subproducto durante la fabricación de clorodifluorometano (HCFC-22 o CHClF₂)⁶³ y se emite por la chimenea del condensador de la planta. Existe una reducida cantidad de plantas de producción de HCFC-22 en el mundo y, por lo tanto, una cantidad discreta de fuentes puntuales de emisiones de HFC-23.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

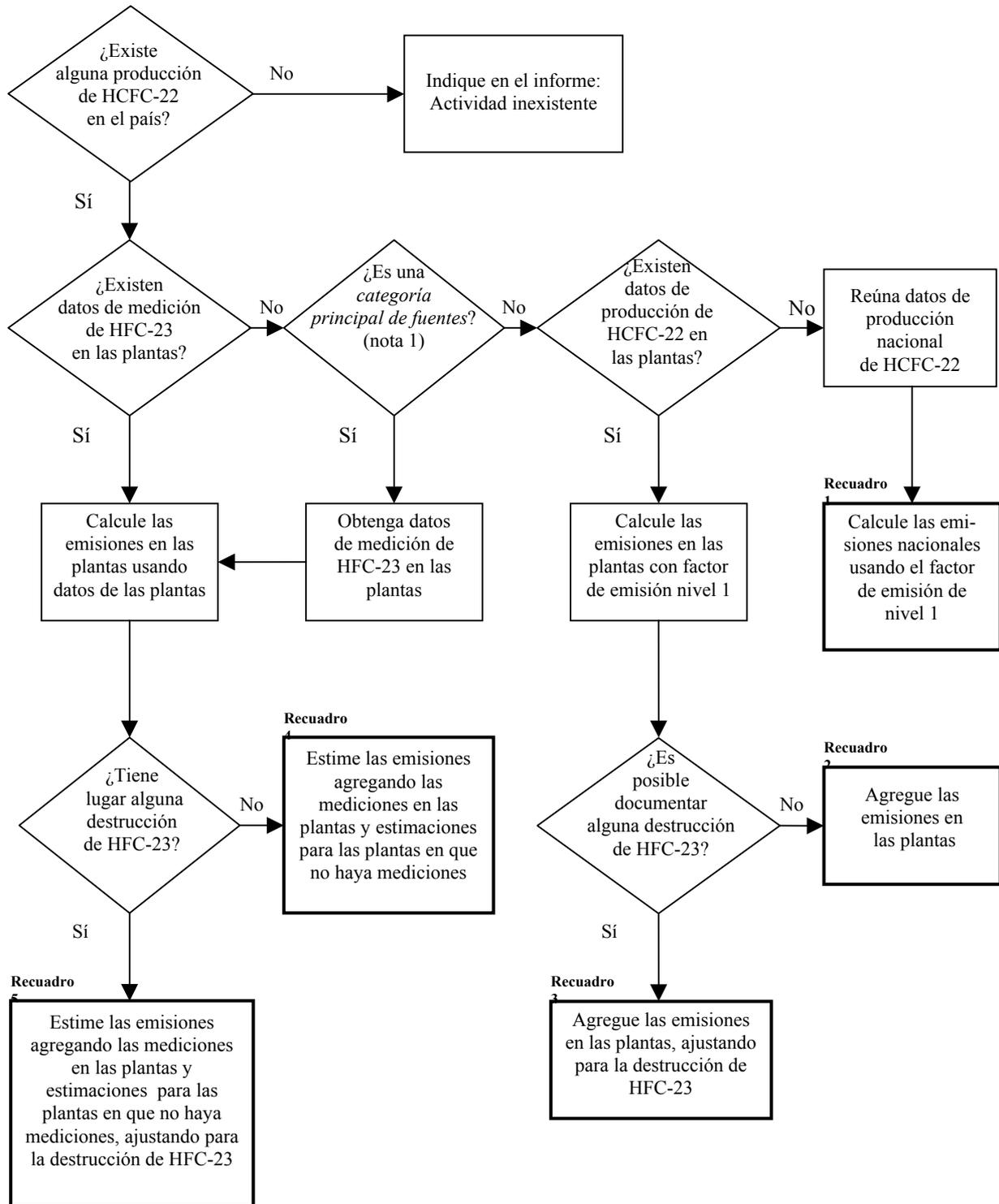
⁶³ El HCFC-22 se usa como refrigerante en varias aplicaciones diferentes, como componente mixto en la espumación y como materia prima química en la fabricación de polímeros sintéticos.

La elección de un método de *buena práctica* dependerá de las circunstancias nacionales. En el árbol de decisiones de la figura 3.19, “Árbol de decisiones para las emisiones de HFC-23 procedentes de la producción de HCFC-22”, se describe la *buena práctica* para adaptar los métodos que figuran en las *Directrices del IPCC* a esas circunstancias específicas de cada país.

En las *Directrices del IPCC* (Vol. 3, sección 2.16.1, “Emisiones de subproductos”) se presentan dos amplios enfoques para estimar las emisiones de HFC-23 procedentes de plantas de HCFC-22. El método de nivel 2 se basa en la medición de la concentración y la tasa de flujo en la chimenea del condensador en cada planta. El producto de la concentración de HFC-23 multiplicado por la tasa de flujo volumétrica da la tasa de masa de las emisiones de HFC-23. El método de nivel 1 es relativamente sencillo; supone la aplicación de un factor de emisión por defecto a la cantidad de HCFC-22 producida. Este método puede aplicarse a escala de las plantas o a escala nacional. En los casos en que se cuenta con datos de nivel 2 para algunas plantas, puede aplicarse el método de nivel 1 a las demás para asegurar una cobertura completa. Independientemente del método, deberían restarse de la estimación bruta las emisiones reducidas para determinar las emisiones netas.

Es una *buena práctica* usar el método de nivel 2, si es posible. La medición directa es mucho más exacta que el nivel 1, porque refleja las condiciones específicas de cada instalación de fabricación. En la mayoría de los casos, deberían ser accesibles los datos necesarios para preparar estimaciones de nivel 2, porque las instalaciones que funcionan aplicando buenas prácticas comerciales realizan muestreos regulares o periódicos de la descarga final del proceso o dentro del proceso mismo, como parte de sus operaciones de rutina. En las instalaciones que usan técnicas de reducción como la destrucción del HFC-23, también se procede a la verificación habitual de la eficiencia de la reducción. Sólo debería emplearse el método de nivel 1 en los raros casos en que no se cuente con datos específicos de las plantas.

Figura 3.19 Árbol de decisiones para las emisiones de HFC-23 procedentes de la producción de HCFC-22



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema de inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país, en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las categorías principales de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.)

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Existen varias opciones de medición en el método de nivel 2, con respecto a la ubicación y frecuencia de la muestra. En general, la medición directa de las emisiones de HFC-23 ofrece la máxima exactitud. La medición continua o frecuente de los parámetros dentro del área misma del proceso de producción es casi igualmente exacta. En ambos casos, la frecuencia de medición debe ser lo bastante alta como para representar la variabilidad en el proceso (p.ej., durante toda la vida útil del catalizador). Los aspectos relativos a la frecuencia de la medición se resumen en el recuadro 3.5, “Frecuencia de la medición en las plantas”. Se brinda asesoramiento general sobre muestreo y representatividad en el capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. En los casos en que no se cuenta con mediciones o muestreos específicos de las plantas y se usan métodos de nivel 1, debería emplearse el factor de emisión por defecto de 4% (toneladas métricas de HFC-23 producidas por tonelada métrica de fabricación de HCFC-22d) que se presenta en las *Directrices del IPCC*, suponiendo que no se apliquen métodos de supresión.

RECUADRO 3.5 FRECUENCIA DE LA MEDICIÓN EN LAS PLANTAS

La exactitud y precisión de las estimaciones de las emisiones anuales de HFC-23 tienen correlación directa con la cantidad de muestras y la frecuencia con que se toman las muestras. Como los procesos de producción no son completamente estáticos, cuanto mayor sea la variabilidad de los procesos, con mayor frecuencia será necesario que las plantas realicen mediciones. Por regla general, deberían repetirse el muestreo y el análisis cada vez que una planta introduce algún cambio importante en los procesos. Antes de elegir una frecuencia de muestreo, la planta debería fijar una meta de exactitud y usar instrumentos estadísticos para determinar el tamaño de la muestra necesario para alcanzar esa meta. Por ejemplo, un estudio sobre los productores de HCFC-22 indica que es suficiente un muestreo de una vez por día para obtener una estimación anual extremadamente exacta. Luego debería revisarse esa meta de exactitud, si es necesario, para tomar en cuenta los recursos disponibles.

RTI, Cadmus, ‘*Performance Standards for Determining Emissions of HFC-23 from the Production of HCFC-22*’, proyecto de informe final preparado para la USEPA, febrero de 1998.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Cuando se utilice el método de nivel 1, los datos de producción deberían obtenerse directamente de los productores. Existen varios medios que permiten a los productores determinar sus niveles de producción, entre ellos el peso de las expediciones y la medición de volumen por densidad, usando medidores de flujo. Esos datos deberían tener en cuenta toda la producción de HCFC-22 en el año, ya sea para la venta o para uso interno como materia prima, y la planta debería describir cómo se determina la tasa de producción de HCFC-22. En algunas circunstancias, tal vez los productores consideren que los datos de producción son confidenciales. Con respecto a los datos de actividad a escala nacional, ya se requiere la presentación de datos de producción de HCFC-22 en virtud del Protocolo de Montreal.

EXHAUSTIVIDAD

Debería ser posible obtener datos completos de muestreo, porque sólo existe una cantidad reducida de plantas de HCFC-22 en cada país y es una práctica corriente que cada explotador de planta verifique las emisiones. Una análisis de los datos de las plantas indica que en las instalaciones de fabricación que funcionan correctamente, las emisiones fugitivas de HFC-23 (p.ej., de válvulas, depuradores de agua y lavados cáusticos) son insignificantes (RTI, 1996). Si se cuenta con información que indica que las emisiones fugitivas son importantes, las mismas deberían presentarse y documentarse bien.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

La emisión de HFC-23 procedente de la producción de HCFC-22 debería estimarse usando el mismo método para toda la serie temporal. Si no se cuenta con datos de algún año de la serie temporal para el método de nivel 2, esa laguna debería llenarse siguiendo la orientación provista en la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

El método de nivel 2 es considerablemente más exacto que el método de nivel 1 por defecto. En el método de nivel 1 podría considerarse un error de aproximadamente 50%, a base del conocimiento de la variabilidad en las

emisiones de diferentes instalaciones de fabricación. El muestreo regular de nivel 2 de la evacuación de la chimenea puede alcanzar una exactitud del 1-2% con un grado de confianza del 95% en las emisiones de HFC-23. Las incertidumbres en el nivel 1 pueden identificarse mediante dictamen de expertos, mientras las incertidumbres en el nivel 2 deberían basarse en medición empírica.

3.8.2 Presentación de datos y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir estimaciones para los inventarios nacionales de emisiones, como se expone en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”.

Se ofrecen a continuación algunos ejemplos de documentación y presentación de datos específicas para esta categoría de fuentes:

- Para ofrecer una presentación completamente transparente, las emisiones de HFC-23 procedentes de la producción de HCFC-22 deberían presentarse como elemento aparte, en vez de incluirlas con las otras emisiones de HFC.
- La documentación debería contener también:
 - i) Una descripción metodológica;
 - ii) La cantidad de plantas de HCFC-22;
 - iii) La producción de HCFC-22 (si hay múltiples productores);
 - iv) La presencia de tecnología de reducción;
 - v) Los factores de emisión.

Confidencialidad

- El uso del método de nivel 2 significaría que las emisiones de HFC-23 en las plantas se presentan aparte de la producción de HCFC-22. Al separar las emisiones de HFC-23 y la producción de HCFC-22, no se puede considerar que los datos de emisión sobre el HFC-23 sean comercialmente reservados, ya que no revelan los niveles de producción de HCFC-22 sin tener conocimiento detallado y confidencial de la instalación de fabricación de que se trate..
- El uso del método de nivel 1 permitiría calcular la producción de HCFC-22 a partir de las emisiones publicadas de HFC-23, si hubiese menos de tres productores. Esos datos de producción podrían considerarse información confidencial de negocios para la instalación de fabricación en cuestión. En tales casos, deberían adoptarse medidas para proteger la confidencialidad, por ejemplo mediante la agregación de todas las emisiones de HFC. Por razones de transparencia, cuando existe agregación, debería incluirse una exposición cualitativa de la producción de HCFC-22.

3.8.3 Garantía de la calidad/control de calidad (GC/CC) de los inventarios

Es una *buena práctica* realizar exámenes de control de la calidad como se expone en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, así como una revisión por expertos de las estimaciones de las emisiones. También pueden ser aplicables otros exámenes de control de calidad, como se expone en la sección 8.7, “Procedimientos específicos de CC para cada categoría de fuentes (nivel 2)”, del capítulo 8 y procedimientos de garantía de la calidad, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se alienta a los organismos encargados de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales de fuentes* identificadas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Además de la orientación que se ofrece en el capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, se resumen a continuación procedimientos específicos importantes para esta subcategoría de fuentes:

Comparación de las estimaciones de las emisiones usando diferentes enfoques

Los organismos encargados de los inventarios deberían comparar las estimaciones de las emisiones presentadas en las plantas con las determinadas usando el factor por defecto de nivel 1 y los datos de producción. Si sólo se

cuenta con datos de la producción nacional, deberían comparar las emisiones agregadas de las plantas con una estimación nacional por defecto. Si se encuentran diferencias importantes en la comparación, deberían responder a las siguientes preguntas:

- i) ¿Hay inexactitudes relacionadas con alguna de las estimaciones de plantas individuales (p.ej., un valor anómalo extremo puede representar una cantidad excesiva de emisiones)?
- ii) ¿Los factores de emisión específicos de las plantas son significativamente diferentes entre sí?
- iii) ¿Las tasas de producción específicas de las plantas son coherentes con las tasas de producción publicadas a escala nacional?
- iv) ¿Existe alguna otra explicación para una diferencia importante, como el efecto de los controles, la manera en que se presenta la producción o supuestos quizás no documentados?

Examen de la medición directa de las emisiones

- Los organismos encargados de los inventarios deberían confirmar que se han usado para las mediciones en las plantas métodos normalizados internacionalmente reconocidos. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, debería evaluarse cuidadosamente el uso de esos datos de las emisiones. También es posible que, cuando exista en los sitios una norma elevada de medición y GC/CC, pueda revisarse y reducirse la incertidumbre de las estimaciones de las emisiones.
- Debería evaluarse el proceso de GC/CC en cada planta, para apreciar si la cantidad de muestras y la frecuencia de la toma de muestras son apropiadas, dada la variabilidad del proceso mismo.
- Cuando sea posible, los organismos encargados de los inventarios deberían verificar todos los datos medidos y calculados, comparándolos con otros sistemas de medición o cálculo. Por ejemplo, la medición de las emisiones dentro del proceso mismo puede verificarse periódicamente midiendo la evacuación de la chimenea. Los organismos encargados de los inventarios deberían verificar la utilización y eficiencia del sistema de reducción.
- Con una auditoría externa periódica de las técnicas y los resultados de la medición en las plantas, también es posible comparar los factores de emisión de que se trate en las distintas plantas y dar cuenta de las diferencias importantes.

Verificación de las emisiones nacionales

- Si bien no es factible verificar la estimación en un solo país, podría procederse a una verificación mundial global de las emisiones estimadas, midiendo los niveles de HFC-23 en la atmósfera. Como existe una cantidad reducida de instalaciones, esto servirá como examen del orden de magnitud de las emisiones procedentes de la industria en todo el mundo, que a su vez puede compararse con las estimaciones nacionales.

REFERENCIAS

EMISIONES DE CO₂ PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA

- American Society for Testing and Materials (ASTM) (1996b). Standard Specification for Quickcal, Hydrated Cal, and Caliza for Chemical Uses, Designation: C911-96, Table 1.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) (1996a). Standard Specification for Portland Cement, Designation: C-150-92, and Standard Specification for blended hydraulic cement: C-595-92.
- Boynton, Robert S. (1980). *Chemistry and Technology of Lime and Limestone*, 2ª. edición, John Wiley and Sons, Inc., Nueva York, EE.UU.
- Deutsche Industrie Norm (DIN) (1994). DIN 1164-1 Zement, Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen. Edition 1994-10.
- International Standard Industrial Classification of all Economic Activities, (ISIC), group 271 and class 2731 Series M No.4, Rev.3, Naciones Unidas, Nueva York, 1990.
- Miller, M. (1999b). US Geological Survey, Cálculos basados en ASTM, 1996b y Schwarzkopf, 1985.
- Miller, M. (1999a). US Geological Survey, Cálculos basados en Boynton (1980).
- Schwarzkopf, F. (1985). *Cal Burning Technology* (2ª edición), Tabla 2, junio de 1985.
- Tichy, M. (1999). Comunicación personal con personal de planta, enero de 1999.
- van Oss, H. (1998). Comunicación personal con Andrew O'Hare (VP Environmental Affairs of the American Portland Cement Alliance). Comunicación personal con personal de planta de la industria del cemento en EE.UU., diciembre de 1998.

EMISIONES DE N₂O PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ADÍPICO Y ÁCIDO NÍTRICO

- Bockman, O. y T. Granli (1994). 'Nitrous oxide from agriculture'. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, Supplement No. 12. Norsk Hydro Research Centre, Porsgrunn, Noruega.
- Bouwman, A.F., K.W. van der Hoek y J.G.J. Olivier (1995). 'Uncertainties in the global source distribution of nitrous oxide'. *Journal of Geophysical Research*, 100:D2, pp. 2785-2800, 20 de febrero de 1995.
- Burtscher, K. (1999). Comunicación personal entre Kurt Burtscher, del Organismo Federal del Medio Ambiente de Austria y el explotador de la planta de industria química en Linz, Austria, 1999.
- Choe, J.S., P.J. Cook y F.P. Petrocelli (1993). 'Developing N₂O Abatement Technology for the Nitric Acid Industry'. Preparado para presentar en la *Conferencia de la ANPSG de 1993e*. Air Products and Chemicals, Inc., Allentown, PA, EE.UU.
- Collis (1999). Comunicación personal entre Gordon Collis, administrador de planta, Simplot Canada Ltd., Canadá y Heike Mainhardt, de ICF, Inc., EE.UU., 3 de marzo de 1999.
- Cook, Phillip (1999). Comunicación personal entre Phillip Cook, de Air Products and Chemicals, Inc., EE.UU. y Heike Mainhardt, de ICF, Inc., EE.UU., 5 de marzo de 1999.
- CW (Chemical Week) (1999). 'Product focus: adipic acid/adiponitrile'. *Chemical Week*, p. 31, 10 de marzo de 1999.
- EFMA (European Fertilizer Manufacturers Association) (1995). *BAT for pollution and control in the European fertilizer industry, production of nitric acid*. ERMA, Bruselas, Bélgica.
- Japan Environment Agency (1995). *Study of Emissions Factors for N₂O from Stationary Sources*.
- Johnson Matthey (1991). 'The Gauze Wire: A Technical Update for Users of Woven Precious Metal Catalysts'. *Nitrous oxide emissions control*, Vol. 3, p. 6, Johnson Matthey, West Chester, PA, EE.UU., octubre de 1991.
- Norsk Hydro (1996). Comunicación personal entre Jos Olivier y Norsk Hydro a.s., Noruega, marzo de 2000.
- Olivier, J. (1999). Comunicación personal entre Jos Olivier, del Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente (RIVM), Países Bajos, y Heike Mainhardt, de ICF, Inc., EE.UU., 2 de febrero de 1999.

- Oonk, H. (1999). Comunicación personal entre Hans Oonk, de TNO, Países Bajos, y Jos Olivier, del Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente (RIVM), Países Bajos. Febrero de 1999.
- Reimer, R., (1999a). Comunicación personal entre Ron Reimer, de DuPont, EE.UU. y Heike Mainhardt, de ICF, Inc., EE.UU., 8 de febrero de 1999.
- Reimer, R., (1999b). Comunicación personal entre Ron Reimer, de DuPont, EE.UU. y Heike Mainhardt, de ICF, Inc., EE.UU., 19 d mayo de 1999.
- Reimer, R.A., C.S. Slaten, M. Seapan, T.A. Koch y V.G. Triner (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, Países Bajos, 8-10 de septiembre de 1999, Ed. J. van Ham *et al.*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 347-358.
- Reimer, R.A., R.A. Parrett y C.S. Slaten (1992). 'Abatement of N₂O emission produced in adipic acid'. *Proc. of the 5th International Workshop on Nitrous Oxide Emissions*, Tsukuba, Japón, 1-3 de julio de 1992.
- Scott, Alex (1998). 'The winners and losers of N₂O emission control'. *Chemical Week*, 18 de febrero de 1998.
- Thiemens, M.H. y W.C. Trogler (1991). 'Nylon production; an unknown source of atmospheric nitrous oxide'. *Science*, 251, pp. 932-934.

EMISIONES DE PFC PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ALUMINIO

- Bjerke, W. (1999a). Comunicación personal sobre los factores de emisión VSS del Grupo de expertos sobre PFC del IPAI entre Willy Bjerke, del International Primary Aluminum Institute, Reino Unido, y Michael Atkinson, de Diamantina Technology, Australia, abril de 1999.
- Bjerke, W. (1999b), G. Bouchard y J. Marks (1999). Comunicación personal sobre datos de medición y factores de emisión entre Willy Bjerke, IPAI, Londres, Reino Unido; Guy Bouchard, Alcan, Quebec, Canadá; Jerry Marks, Alcoa, Pittsburgh, EE.UU. y Michael Atkinson, Diamantina Technology, Australia, marzo de 1999.
- Bouzat G, J.C. Carraz y M. Meyer (1996). 'Measurements of CF₄ and C₂F₆ Emissions from Prebaked Pots'. *Light Metals*, pp. 413-417.
- Harnisch, J., I. Sue Wing, H.D. Jacoby, R.G. Prinn (1998). *Primary Aluminum Production: Climate Policy, Emissions and Costs*. Report No. 44, MIT-Joint Program on the Science and Policy of Global Change Report Series, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- IPAI - International Primary Aluminum Institute (1996). *Anode Effect And Perfluorocarbon Compounds Emission Survey 1990-1993*. IPAI, Londres, Reino Unido.
- Kimmerle, F., G. Potvin y J. Pisano (1998). 'Reduction of the PFC Emissions from Prebaked Hall Heroult Cells'. *Light Metals*, 1998, pp. 165-175.
- Leber, B.P., A.T. Tabereaux, J. Marks, B. Lamb, T. Howard, R. Kantamaneni, M. Gibbs, V. Bakshi y E.J. Dolin (1998). 'Perfluorocarbon (PFC) Generation at Primary Aluminum Smelters'. *Light Metals*, febrero de 1998, pp. 277-285.
- Marks, J. (1998). 'PFC Emission Measurements from Alcoa Aluminum Smelters'. *Light Metals*, pp. 287-291.
- Marks, J., R. Roberts, V. Bakshi y E. Dolin (2000). 'Perfluorocarbon (PFC) Generation during Primary Aluminum Production', *Light Metals*, en prensa.
- Roberts, R. y J. Marks (1994). 'Measurement of CF₄ and C₂F₆ Evolved During Anode Effects from Aluminum Production.' Presentado en el *International Primary Aluminum Institute (IPAI) PFC Workshop*, marzo de 1994.
- Roberts, R. y P.J. Ramsey (1994). 'Evaluation of Fluorocarbon Emissions from the Aluminum Smelting Process'. *Light Metals*, pp. 381-388.

EMISIONES DE SF₆ PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE MAGNESIO

- Gjestland, H. (1996) y D. Magers. *Proceedings of the International Magnesium Association's annual World Magnesium Conference*, 1996.
- Palmer, B (1999). Cheminfo Services, Inc. Comunicación personal con personal de planta de las principales fundiciones de magnesio primario, enero de 1999.

EMISIONES DE SF₆ PROCEDENTES DE EQUIPOS ELÉCTRICOS Y OTRAS FUENTES

- Bitsch, R. (1999a). Exposición de experiencias de Siemens AG, Erlangen, Alemania y otros fabricantes europeos de mecanismos de control sobre los factores de emisión en la reunión del *Grupo de expertos sobre la buena práctica en la preparación de inventarios*, Washington D.C., EE.UU., enero de 1999, Programa sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de IPCC/OCDE/IEA.
- Bitsch R. (1999b). Comunicación personal con personal de planta de Siemens A.G., Alemania.
- Chemical Products Council (1999). *The Sixth Meeting of the Committee for Prevention of Global Warming*. The Chemical Products Council, MITI, Japón, 21 de mayo de 1999.
- Denki Kyodo Kenkyu (1998). Vol. 54, No.3, Electric Technology Research Association, diciembre de 1998.
- Olivier, J.G.J. y J. Bakker (2000). *Historical emissions of HFCs, PFCs and SF₆ 1950-1995. Consumption and emission estimates per country 1950-1995 and global emissions on 1°x1° in EDGAR 3.0*. RIVM, Bilthoven, Países Bajos.
- Preisegger, E. (1999). Exposición de experiencias de Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover, Alemania con respecto a un factor de emisión en la reunión del *Grupo de expertos sobre la buena práctica en la preparación de inventarios*, Washington D.C., EE.UU., enero de 1999, Programa sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de IPCC/OCDE/IEA.
- Science & Policy Associates (1997). *Sales of Sulphur Hexafluoride (SF₆) by End-Use Applications*. Washington, D.C., EE.UU.
- Schwarz, W. y A. Leisewitz (1996). *Emisiones actuales y futuras de compuestos fluorados con efecto de calentamiento atmosférico en Alemania* (en alemán). Informe UBA-FB 1060 1074/01, Umweltbundesamt, Berlín.
- Schwarz, W. y A. Leisewitz (1999). *Emisiones y potenciales de reducción de HFC, PFC y SF₆ en Alemania*. Informe UBA-FB 298 41 256, Umweltbundesamt, Berlín.
- 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*, ECN, Petten, Países Bajos, 26-28 de mayo de 1999.

EMISIONES DE PFC, HFC, SF₆ PROCEDENTES DE LA FABRICACIÓN DE SEMICONDUCTORES

- Molina et al. (1995). *Atmospheric Geophysical Research Letters*, Vol. 22, No. 13, pp.1873-6.
- Semiconductor Industry Association (2000). *Equipment Environmental Characterisation Guidelines*. Revisión 3.0 en febrero de 2000. San José, CA, EE.UU.

EMISIONES DE SUSTITUTOS DE SUSTANCIAS DESTRUCTURAS DEL OZONE (SUSTITUTOS DE SDO)

- Ashford P. (1999). 'Emissions from Foams – Predicting, monitoring, reporting and reducing'. *Proceedings of the Joint IPCC/TEAP Expert Meeting on Options for the Limitation of Emissions of HFCs and PFCs*, ECN Petten, Países Bajos, 26-28 de mayo de 1999.
- Baker, J. (1999). 'Mobile Air Conditioning: HFC-134a Emissions and Emission Reduction Strategies'. Presentado en la *Reunión conjunta de expertos IPCC/TEAP sobre las opciones para limitar las emisiones de HFC y PFC*, celebrada en la Fundación de investigaciones energéticas de los Países Bajos (ECN), Petten, Países Bajos, 26-28 de mayo de 1999; patrocinada por el Ministerio del Medio Ambiente de los Países Bajos (VROM) y la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (U.S. EPA).
- Clodic D. (1999). Comunicación personal con personal de planta, febrero de 1999.
- Expert Group (1999). Dictamen del grupo de expertos en la *Reunión de expertos para orientación sobre buenas prácticas en las emisiones procedentes de procesos industriales* de Washington, enero de 1999, Programa sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de IPCC/OCDE/IEA.
- Gamlen P.H., B.C. Lane, P.M. Midgley y J.M. Steed (1986). 'The producción and release to the atmosphere of CCl₃F and CCl₂F₂ (Chlorofluorocarbons CFC 11 and CFC 12)'. *Atmos. Environ.*, 20(6), pp. 1077-1085.
- HTOC (1998). Halon Technical Options Committee, 1998. <http://www.TEAP.org>.

McCulloch A., P.M. Midgley y D.A. Fisher (1994). 'Distribution of emissions of chlorofluorocarbons (CFCs) 11, 12, 113, 114 and 115 among reporting and non-reporting countries in 1986'. *Atmos. Environ.*, 28(16), pp. 2567-2582.

ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE HFC-23 PROCEDENTES DE LA FABRICACIÓN DE HCFC-22

Research Triangle Institute (RTI) (1994). *The Reduction of HFC-23 Emissions from the Production of HCFC-22*, informe final. Preparado para la División de Prevención de la Contaminación Atmosférica, Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EE.UU., julio de 1996.

Research Triangle Institute (RTI) (1998). *Verification of Emission Estimates of HFC-23 from the Production of HCFC-22: Emissions from 1990 through 1996*. Preparado para la División de Prevención de la Contaminación Atmosférica, Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EE.UU., febrero de 1998.

RTI, Cadmus (1998). *Performance Standards for Determining Emissions of HFC-23 from the Production of HCFC-22*, proyecto de informe final. Preparado para la USEPA, febrero de 1998.

Secretaría de la CMCC (1998). *Methodological Issues Identified While Processing Second National Communications*. CMCC/SBSTA/1998/7.