

# **CAPÍTULO 8**

---

## **MANUFACTURA Y UTILIZACIÓN DE OTROS PRODUCTOS**

## **Autores**

### ***Secciones 8.1, 8.2 y 8.3***

Deborah Ottinger Schaefer (Estados Unidos)

Friedrich Plöger (Alemania), Winfried Schwarz (Alemania), Sven Thesen (Estados Unidos), Ewald Preisegger (Alemania), Ayite-Lo N. Ajavon (Togo), y Dadi Zhou (China)

### ***Sección 8.4***

Nigel Harper (Reino Unido)

## Índice

|         |  |      |
|---------|--|------|
| 8       | Manufactura y utilización de otros productos .....   | 8.6  |
| 8.1     | Introducción .....   | 8.6  |
| 8.2     | Emisiones de SF <sub>6</sub> y PFC procedentes de los equipos eléctricos .....                 | 8.6  |
| 8.2.1   | Introducción .....   | 8.6  |
| 8.2.2   | Cuestiones metodológicas.....  | 8.7  |
| 8.2.2.1 | Elección del método .....  | 8.7  |
| 8.2.2.2 | Elección de los factores de emisión.....   | 8.15 |
| 8.2.2.3 | Elección de los datos de la actividad .....  | 8.18 |
| 8.2.2.4 | Exhaustividad .....  | 8.20 |
| 8.2.2.5 | Desarrollo de una serie temporal coherente.....  | 8.21 |
| 8.2.3   | Evaluación de incertidumbre .....  | 8.21 |
| 8.2.4   | Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC),<br>generación de informes y documentación..... | 8.22 |
| 8.2.4.1 | Garantía de calidad y Control de calidad.....  | 8.22 |
| 8.2.4.2 | Generación de informes y documentación .....   | 8.23 |
| 8.3     | Uso del SF <sub>6</sub> y de los PFC en otros productos.....                                   | 8.24 |
| 8.3.1   | Introducción .....   | 8.24 |
| 8.3.2   | Cuestiones metodológicas.....  | 8.24 |
| 8.3.2.1 | Elección del método .....  | 8.24 |
| 8.3.2.2 | Elección de los factores de emisión.....   | 8.34 |
| 8.3.2.3 | Elección de los datos de la actividad .....  | 8.34 |
| 8.3.2.4 | Exhaustividad .....  | 8.34 |
| 8.3.2.5 | Desarrollo de una serie temporal coherente.....  | 8.34 |
| 8.3.3   | Evaluación de incertidumbre .....  | 8.34 |
| 8.3.4   | Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC),<br>generación de informes y documentación..... | 8.35 |
| 8.3.4.1 | Garantía de calidad y Control de calidad.....  | 8.35 |
| 8.3.4.2 | Generación de informes y documentación .....   | 8.35 |
| 8.4     | N <sub>2</sub> O procedente del uso de productos .....   | 8.36 |
| 8.4.1   | Introducción .....   | 8.36 |
| 8.4.2   | Cuestiones metodológicas.....  | 8.37 |
| 8.4.2.1 | Elección del método .....  | 8.37 |
| 8.4.2.2 | Elección de los factores de emisión.....   | 8.37 |
| 8.4.2.3 | Elección de los datos de la actividad .....  | 8.38 |
| 8.4.2.4 | Exhaustividad .....  | 8.38 |
| 8.4.2.5 | Desarrollo de una serie temporal coherente.....  | 8.38 |
| 8.4.3   | Evaluación de incertidumbre .....  | 8.38 |

|             |  |      |
|-------------|--|------|
| 8.4.3.1     | Incertidumbres del factor de emisión .....   | 8.38 |
| 8.4.3.2     | Incertidumbres en los datos de la actividad.....   | 8.39 |
| 8.4.4       | Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC),<br>generación de informes y documentación..... | 8.39 |
| Referencias | .....  | 8.40 |
| Anexo 8A    | Ejemplos de sistemas de inventarios nacionales de SF <sub>6</sub> de Nivel 3 .....             | 8.42 |

## Ecuaciones

|               |   |      |
|---------------|---|------|
| Ecuación 8.1  | Método del factor de emisión por defecto.....   | 8.8  |
| Ecuación 8.2  | Emisiones procedentes de la eliminación de los equipos según el método<br>del factor de emisión específico del país.....              | 8.9  |
| Ecuación 8.3  | Emisiones totales de Nivel 3.....   | 8.10 |
| Ecuación 8.4A | Emisiones de la fabricación de los equipos – equilibrio de masas puro.....  | 8.10 |
| Ecuación 8.4B | Emisiones de la fabricación de los equipos – Híbrido .....  | 8.11 |
| Ecuación 8.4A | Emisiones de la instalación de los equipos – equilibrio de masas puro .....   | 8.11 |
| Ecuación 8.5B | Emisiones de la instalación de los equipos – Híbrido .....  | 8.11 |
| Ecuación 8.6A | Emisiones del uso de los equipos – equilibrio de masas puro.....  | 8.12 |
| Ecuación 8.6B | Emisiones del uso de los equipos – Híbrido .....  | 8.12 |
| Ecuación 8.7A | Emisiones de la eliminación y uso final de los equipos – equilibrio de masas puro.....  | 8.12 |
| Ecuación 8.7B | Emisiones de la eliminación y del uso final de los equipos – Híbrido.....   | 8.13 |
| Ecuación 8.8  | Emisiones procedentes del reciclado del SF <sub>6</sub> * .....   | 8.13 |
| Ecuación 8.9  | Emisiones procedentes de la destrucción del SF <sub>6</sub> .....   | 8.14 |
| Ecuación 8.10 | Enfoque por equilibrio de masas al nivel de los servicios .....   | 8.14 |
| Ecuación 8.11 | Capacidad nominal que se retira .....   | 8.19 |
| Ecuación 8.12 | Emisiones procedentes de los AWACS (factor de emisión por defecto).....   | 8.25 |
| Ecuación 8.13 | Emisiones procedentes de los AWACS (equilibrio de masas del usuario).....   | 8.26 |
| Ecuación 8.14 | Emisiones procedentes de los aceleradores universitarios y de investigación<br>(al nivel del país).....                               | 8.28 |
| Ecuación 8.15 | Emisiones procedentes de los aceleradores universitarios y de investigación<br>(factor de emisión al nivel de los aceleradores) ..... | 8.29 |
| Ecuación 8.16 | Emisiones totales procedentes de los aceleradores de investigación .....  | 8.29 |
| Ecuación 8.17 | Emisiones procedentes de los aceleradores de investigación<br>(equilibrio de masas al nivel de los aceleradores).....                 | 8.29 |
| Ecuación 8.18 | Emisiones procedentes de los aceleradores industriales y/o de uso médico<br>(al nivel del país).....                                  | 8.31 |
| Ecuación 8.19 | Aplicaciones de la propiedad adiabática .....   | 8.32 |
| Ecuación 8.20 | Ventanas de doble cristal: Ensamblado.....  | 8.32 |
| Ecuación 8.21 | Ventanas de doble cristal: Uso.....   | 8.32 |
| Ecuación 8.22 | Ventanas de doble cristal: Eliminación.....   | 8.33 |
| Ecuación 8.23 | Emisiones rápidas .....   | 8.34 |

Ecuación 8.24 Emisiones de N<sub>2</sub>O procedentes del uso de otros productos ..... 8.37

## Figuras

Figura 8.1 Árbol de decisión para el SF<sub>6</sub> procedente de los equipos eléctricos<sup>1</sup> ..... 8.8

Figura 8.2 Árbol de decisión para el SF<sub>6</sub> procedente de los AWACS..... 8.25

Figura 8.3 Árbol de decisión para el SF<sub>6</sub> procedente de los aceleradores de la investigación ..... 8.28

Figura 8.4 Árbol de decisión para los aceleradores de partículas industriales y de uso médico ..... 8.30

Figura 8A.1 Ejemplo del enfoque de Nivel 3: Alemania, equipos de alta tensión..... 8.42

Figura 8A.2 Ejemplo del enfoque de Nivel 3: Alemania, equipos de tensión intermedia..... 8.43

## Cuadros

Cuadro 8.1 Prevención de los cálculos dobles y de las omisiones de emisiones: Dos ejemplos..... 8.14

Cuadro 8.2 Equipos eléctricos de presión sellados (Conmutadores de tensiones intermedias) que contienen SF<sub>6</sub>: Factores de emisión por defecto..... 8.16

Cuadro 8.3 Equipos eléctricos de presión cerrados (Conmutadores de alta tensión) que contienen SF<sub>6</sub>: Factores de emisión por defecto..... 8.16

Cuadro 8.4 Transformadores con aislación de gas que contienen SF<sub>6</sub>: Factores de emisión por defecto..... 8.17

Cuadro 8.5 Incertidumbres de los factores de emisión por defecto y de la vida útil ..... 8.22

Cuadro 8.6 Informaciones declarativas de Buena Práctica para las emisiones de SF<sub>6</sub> procedentes de los equipos eléctricos, por nivel ..... 8.23

Cuadro 8.7 Emisiones de SF<sub>6</sub> por avión por año ..... 8.25

Cuadro 8.8 Flotas nacionales de AWACS..... 8.26

Cuadro 8.9 Carga promedio de SF<sub>6</sub> en un acelerador de partículas por descripción del proceso ..... 8.31

Cuadro 8.10 Factor de emisión para cada descripción del proceso (Emisiones de SF<sub>6</sub> procedentes de los aceleradores de partículas industriales y de uso médico) ..... 8.31

## 8 MANUFACTURA Y UTILIZACIÓN DE OTROS PRODUCTOS

### 8.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se bosquejan los métodos para estimar las emisiones del hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) y de los perfluorocarbonos (PFC) generadas en la manufactura y utilización de los equipos eléctricos y muchos otros productos. Se proporcionan también los métodos para estimar las emisiones de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) procedentes de varios productos. En la mayoría de estas aplicaciones, el  $\text{SF}_6$ , el PFC o el  $\text{N}_2\text{O}$  se incorporan deliberadamente en los productos, para explotar una o varias de las propiedades físicas de la sustancia química, como la elevada constante dieléctrica del  $\text{SF}_6$ , la estabilidad de los PFC y los efectos anestésicos del  $\text{N}_2\text{O}$ . Sin embargo, las aplicaciones que se analizan aquí poseen una amplia gama de perfiles de emisión, que van desde la liberación inmediata e inevitable de toda la sustancia química (p. ej., el uso de los PFC como trazadores atmosféricos), hasta una liberación retardada y muy evitable desde productos sellados contra las fugas, luego de 40 años de uso (p. ej., manufactura y utilización de equipos eléctricos de presión sellados). Los métodos de estimación que se presentan en este capítulo han sido adaptados para reflejar estas diferencias en los perfiles de emisión.

En la Sección 8.2 se detallan los métodos para estimar las emisiones de  $\text{SF}_6$  y PFC generadas por los equipos eléctricos. En la Sección 8.3 se detallan los métodos para estimar las emisiones procedentes de la manufactura y del uso de una gran variedad de otros productos industriales, comerciales y de consumo corriente que contienen  $\text{SF}_6$  y PFC, con la excepción de aquellos que se hayan analizado en otros capítulos de este volumen (p. ej., emisiones de PFC procedentes de las fabricaciones electrónicas, que se analizan en el Capítulo 6). (Véase la introducción a la Sección 8.3 que contiene la lista de las fuentes excluidas.) Por último, en la Sección 8.4 se analizan los métodos para estimar las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  procedentes de los anestésicos, los propulsores y otros usos de productos.

### 8.2 EMISIONES DE $\text{SF}_6$ Y PFC PROCEDENTES DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS

#### 8.2.1 Introducción

El hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) se emplea como aislante eléctrico y para interrumpir la corriente en los equipos utilizados en la transmisión y distribución de electricidad. Las emisiones se producen en cada etapa del ciclo de vida útil de los equipos, incluida la fabricación, la instalación, el uso, el mantenimiento y la eliminación. La mayor parte del  $\text{SF}_6$  utilizado en los equipos eléctricos se emplea en conmutadores y subestaciones con aislación de gas (GIS, del inglés, *Gas-Insulated Substations*) y en los disyuntores a gas (GCB, del inglés, *Gas Circuit Breakers*), aunque parte del  $\text{SF}_6$  se emplea en líneas de alta tensión con aislación de gas (GIL, del inglés, *Gas-Insulated Lines*), en transformadores para aparatos de medida externos con aislación de gas y en otros equipos. Las aplicaciones mencionadas pueden dividirse en dos categorías de confinamiento del gas. La primera categoría son los «Sistemas de presión sellados» o «Equipos herméticos», que se define como equipos que nunca necesitan ser recargados con gas (conservación del nivel de llenado) durante toda la vida útil y que generalmente contienen menos de 5 kg. de gas por unidad funcional.<sup>1</sup> En general, los equipos de distribución corresponden a esta categoría. La segunda categoría es la de los «Sistemas de presión cerrados», definida por incluir los equipos que requieren ser recargados con gas (conservación del nivel de llenado) durante la vida útil. Este tipo de equipo suele contener entre cinco y varios centenares de kilogramos por unidad funcional. Los equipos de transmisión entran normalmente dentro de esta categoría. Ambas categorías de equipos poseen más de 30 y hasta de 40 años de vida útil. En Asia se utilizan grandes cantidades de  $\text{SF}_6$  en los transformadores de energía con aislación de gas (GIT).

Mundialmente, los equipos eléctricos son los mayores consumidores y los más importantes usuarios del  $\text{SF}_6$ . Contribuyen de forma significativa a las emisiones planetarias de  $\text{SF}_6$ . Sin embargo, la importancia de esta fuente varía considerablemente de una región a otra y de un país a otro. Las emisiones de esta categoría dependen, no sólo de las cantidades de  $\text{SF}_6$  instaladas (en bancos) o consumidas, sino también -y mucho- de la

<sup>1</sup> Las definiciones formales de «sistema de presión sellado» y de «sistema de presión cerrado» están explicadas en la norma 60694 de la Comisión electro-técnica internacional (IEC, del inglés, *International Electro-technical Commission*), (IEC, 1996).

hermeticidad de los productos y de los procesos de manipulación aplicados. Los índices regionales promedio de emisión varían actualmente entre mucho menos del 1 por ciento y más del 10 por ciento. En general, los índices de emisión han disminuido significativamente desde 1995. Las acciones orientadas de la industria han reducido las emisiones un 50 a un 90 por ciento en Europa y en Asia (Ecofys, 2005; Aoyama, 2004). Estas acciones incluyen: (1) el diseño de equipos que requieren una carga menor de SF<sub>6</sub> y que son más herméticos, y (2) el mejoramiento de los procedimientos y equipos de manipulación para todas las etapas del ciclo de vida útil.<sup>2</sup>

En algunas regiones (p. ej., América del Norte y Japón), los perfluorocarbonos (PFC) se utilizan como dieléctricos y fluidos de transferencia térmica en los transformadores de energía. Los PFC se emplean también para actualizar retrospectivamente los transformadores enfriados anteriormente con CFC-113. Uno de los PFC utilizados en esta aplicación es el perfluorohexano (C<sub>6</sub>F<sub>14</sub>). Para los equipos eléctricos, se piensa que en términos de emisiones, sean éstas absolutas o ponderadas en carbono, las de los PFC son generalmente mucho menores que las de SF<sub>6</sub>; sin embargo pueden haber excepciones regionales a este patrón.

## 8.2.2 Cuestiones metodológicas

### 8.2.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

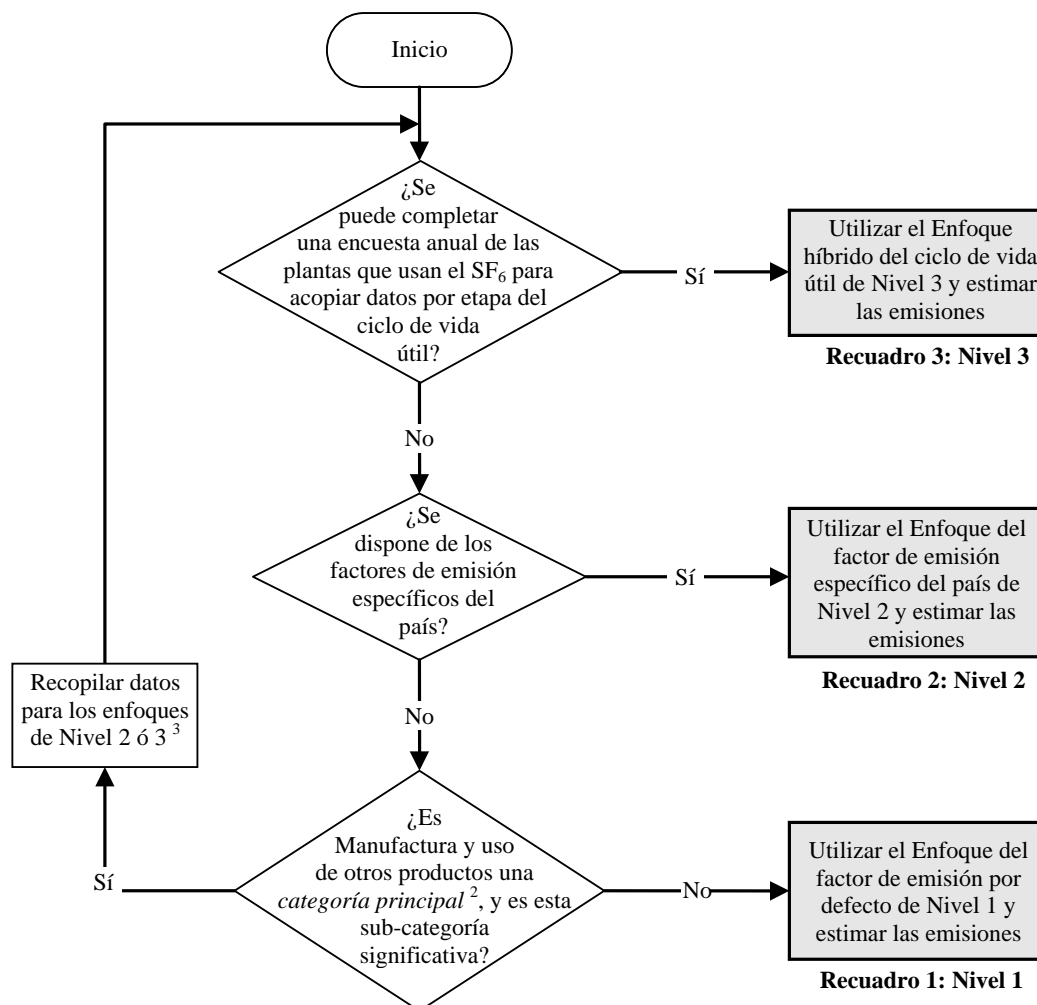
Las emisiones de SF<sub>6</sub> procedentes de los equipos eléctricos pueden estimarse de varias maneras, con grados diferentes de complejidad y de intensidad en los requerimientos de datos. En esta sección se describe la *buena práctica* para utilizar el método de Nivel 1 (enfoque por defecto basado en factores de emisión), un método de Nivel 2 (enfoque basado en factores de emisión específicos del país) y un método de Nivel 3 (método híbrido que puede emplear enfoques basados, ya sea en el equilibrio de masas o en factores de emisión para las distintas etapas, según las circunstancias específicas del país). Por lo general, las estimaciones de emisiones más exactas se obtienen con el método de Nivel 3, el cual se implementa al nivel de la planta. Las estimaciones realizadas con el método de Nivel 1 son las menos exactas.

Al igual que para otras fuentes de emisiones, el nivel escogido depende de la disponibilidad de los datos y de la condición de esta fuente como *categoría principal*. En la Figura 8.1, Árbol de decisión para el SF<sub>6</sub> procedente de los equipos eléctricos, se resume el proceso de elección entre los Niveles 3, 2 y 1. La *buena práctica* para escoger entre las variantes por equilibrio de masas y por factor de emisión del enfoque de Nivel 3 se analiza en detalle en la Sección 1.5 del Capítulo 1. Esta elección depende tanto de la disponibilidad de los datos como de las circunstancias específicas del país. Como una primera etapa en la determinación de la importancia de las emisiones de SF<sub>6</sub> procedentes de los equipos eléctricos y de otras categorías analizadas en este capítulo, se alienta a los compiladores del inventario a contactar a los productores químicos y a los proveedores, así como a los fabricantes de equipos eléctricos y de servicios y/o las asociaciones industriales respectivas. Estas organizaciones pueden proporcionar información básica sobre el consumo de sustancias químicas y sobre las existencias de equipos y aplicaciones, que puede ayudar al compilador para estimar las emisiones e identificar las fuentes que merecen una investigación más avanzada. También pueden aportar consejos y soporte importantes para establecer sistemas más amplios de recopilación de datos que respalden las estimaciones de Nivel 2 y Nivel 3.

---

<sup>2</sup> El Consejo internacional de grandes redes eléctricas (CIGRE) ha publicado una guía sobre el manejo del SF<sub>6</sub>, *Guide for the Preparation of customized "Practical SF<sub>6</sub> Handling Instructions,"* Task Force B3.02.01, CIGRE Publication No.276, August 2005. (CIGRE, 2005)

**Figura 8.1**      **Árbol de decisión para el SF<sub>6</sub> procedente de los equipos eléctricos<sup>1</sup>**



Nota :

1. Al seleccionar un método de estimación, es una *buena práctica* considerar también los criterios presentados en el Cuadro 1.7, Capítulo 1, Sección 1.5 de este volumen para escoger entre las variantes por balance de masas y por factor de emisión de cada nivel.
2. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).
3. Es una *buena práctica* contactar las asociaciones nacionales y/o regionales de plantas y/o usuarios y fábricas para recopilar, verificar y agregar los datos reales e históricos.

## MÉTODO DE NIVEL 1 – FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO

El enfoque de Nivel 1 es el más simple de los enfoques empleados para estimar las emisiones de SF<sub>6</sub> y PFC provenientes de los equipos eléctricos. (De ahora en adelante, en esta sección se usará el término «SF<sub>6</sub>» para referirse a «SF<sub>6</sub> y/o PFC».) En este método, se estiman las emisiones multiplicando los factores de emisión regionales por defecto, donde sea apropiado, por el SF<sub>6</sub> consumido por los fabricantes de equipos y/o por la capacidad nominal de SF<sub>6</sub> de los equipos en cada etapa del ciclo de vida útil posterior a la fabricación en el país. Se puede omitir el término correspondiente a las emisiones de la instalación si (1) no se espera que se produzcan emisiones durante la instalación (es decir, en el caso de los equipos de presión cerrados), o (2) las emisiones de la instalación están incluidas en el factor de emisión para las emisiones procedentes de la manufactura o del uso. Los factores de emisión por defecto se presentan en los Cuadros 8.2 a 8.4.

Es una *buena práctica* emplear la ecuación siguiente:

**ECUACIÓN 8.1**  
**MÉTODO DEL FACTOR DE EMISIÓN POR DEFECTO**

Emisiones totales = Emisiones de la fabricación + Emisiones de la instalación de los equipos  
 + Emisiones del uso de los equipos + Emisiones de la eliminación de los equipos

Donde:



*Emisiones de la fabricación* = Factor de emisión de la fabricación • Consumo total de SF<sub>6</sub> por los fabricantes de los equipos.

*Emisiones de la instalación de los equipos* = Factor de emisión de la instalación • Capacidad nominal total de los equipos nuevos llenados en el sitio (y no en la fábrica).

*Emisiones del uso de los equipos* = Factor de emisión del uso • Capacidad nominal total de los equipos instalados.

El «factor de emisión del uso» incluye las emisiones debidas a las fugas, al servicio y mantenimiento, así como a las fallas.

*Emisiones de la eliminación de los equipos* = Capacidad nominal total de los equipos que se retiran • Fracción del SF<sub>6</sub> que permanece en los equipos retirados

## MÉTODO DE NIVEL 2 – MÉTODO DEL FACTOR DE EMISIÓN ESPECÍFICO DEL PAÍS

El método de Nivel 2 utiliza la misma ecuación de base que el de Nivel 1, pero requiere factores de emisión específicos del país y fiables para cada etapa del ciclo de vida útil. Los factores de emisión específicos del país son más exactos pues reflejan las circunstancias únicas correspondientes al uso de los equipos eléctricos en un país determinado. Además, si se dispone de datos detallados sobre el retiro de los equipos, las emisiones provenientes del retiro pueden estimarse con mayor exactitud. La expresión para las Emisiones de la eliminación de los equipos en el método de Nivel 2 incluye términos que dan cuenta de la recuperación de SF<sub>6</sub> en el momento del retiro o durante la eliminación, de la manera siguiente:

### ECUACIÓN 8.2

#### EMISIONES PROCEDENTES DE LA ELIMINACIÓN DE LOS EQUIPOS SEGÚN EL MÉTODO DEL FACTOR DE EMISIÓN ESPECÍFICO DEL PAÍS

Emisiones de la eliminación de los equipos = Capacidad nominal total de los equipos que se retiran

- Fracción de SF<sub>6</sub> remanente al momento del retiro • (1 – fracción de los equipos que se retiran cuyo SF<sub>6</sub> es recuperado • eficiencia de recuperación • fracción del SF<sub>6</sub> recuperado que se recicla, se reutiliza sin otro tratamiento o se destruye\*)

\*Este último término está destinado a dar cuenta de las emisiones producidas durante el reciclado químico y la destrucción.

Nótese que para considerarlas de Nivel 2, las estimaciones deben desarrollarse empleando sólo factores de emisión específicos del país.

## MÉTODO HÍBRIDO DE NIVEL 3 – EMISIONES POR ETAPA DEL CICLO DE VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS

El método de Nivel 3 es el más exacto para estimar las emisiones de SF<sub>6</sub> provenientes de los equipos eléctricos. Este método es detallado pero flexible e integra un amplio espectro de circunstancias nacionales. Se implementa al nivel de una planta e incluye ecuaciones separadas para cada fase del ciclo de vida útil de los equipos, que abarcan la fabricación, instalación, el uso y la eliminación de los equipos. Se puede usar, ya sea un enfoque por equilibrio de masas o por factores de emisión específicos del país (o de la planta), según el tipo de equipo, de etapa del ciclo de vida útil y de las circunstancias específicas del país. En general, es una *buena práctica* utilizar el enfoque por equilibrio de masas, excepto cuando: (1) los índices de emisión desde un proceso son cercanos o inferiores a la precisión de las mediciones necesarias para el enfoque por equilibrio de masas (p. ej., 3 por ciento de la capacidad nominal por año o menos); (2) los equipos no reciben nunca mantenimiento durante su vida útil (como se espera que sea el caso de los equipos de presión sellados); o bien, (3) las existencias de los equipos crecen muy rápidamente, como puede ser el caso de los países donde los equipos eléctricos fueron introducidos en los últimos 10 a 20 años.

El enfoque híbrido aumenta la exactitud al permitir el uso del enfoque por equilibrio de masas para algunos procesos y etapas del ciclo de vida útil y del enfoque por factor de emisión para otros procesos y etapas. Sin embargo, la combinación de enfoques diferentes introduce también la posibilidad de efectuar cálculos dobles o de omitir algunas emisiones. Los compiladores del inventario deben estar concientes de este problema y tomar medidas para evitarlo. En el Cuadro 8.1, Prevención de los cálculos dobles y de las omisiones de emisiones, se proporcionan ejemplos, tanto del problema como de sus soluciones.

En el anexo de este capítulo (Anexo 8A) se describe brevemente un ejemplo de implementación del enfoque de Nivel 3 en Alemania. El objetivo del ejemplo es sólo ilustrativo y no prescriptivo; el enfoque preciso que adopte un determinado país dependerá de sus circunstancias específicas.

En el caso ideal, se obtienen los datos sobre cada uno de los fabricantes de equipos, las instalaciones de transmisión y distribución de electricidad, los eliminadores de equipos (que puede ser un fabricante, una empresa de servicios públicos u otra entidad), las instalaciones de reciclado o destrucción del SF<sub>6</sub> en el país, y para desarrollar la estimación nacional, se suman las emisiones de todos estos fabricantes, empresas de servicios públicos, eliminadores o plantas de reciclado o de destrucción. La ecuación básica es:

**ECUACIÓN 8.3**  
**EMISIONES TOTALES DE NIVEL 3**

$$\begin{aligned}
 \text{Emisiones totales} = & \sum \text{Emisiones de la fabricación de los equipos} \\
 & + \sum \text{Emisiones de la instalación de los equipos} \\
 & + \sum \text{Emisiones del uso de los equipos} \\
 & + \sum \text{Emisiones de la eliminación y uso final de los equipos} \\
 & + \sum \text{Emisiones del reciclado y destrucción del SF}_6
 \end{aligned}$$

Donde:

*Emisiones de la fabricación de los equipos* al nivel de la instalación, que pueden estimarse con las Ecuaciones 8.4A y 8.4B.

*Emisiones de la instalación de los equipos* al nivel de la instalación, que pueden estimarse con las Ecuaciones 8.5A y 8.5B.

*Emisiones del uso de los equipos* al nivel de la instalación, que pueden estimarse con las Ecuaciones 8.6A y 8.6B.

*Emisiones de la eliminación y uso final de los equipos* al nivel de la instalación, que pueden estimarse con las Ecuaciones 8.7A y 8.7B.

*Emisiones del reciclado y destrucción del SF<sub>6</sub>* al nivel de la instalación, que pueden estimarse con las Ecuaciones 8.8 y 8.9.

En la ecuación anterior, las emisiones nacionales para cada fase son iguales a la suma de las emisiones de todos los fabricantes, usuarios, eliminadores de equipos o servicios de reciclado y/o destrucción de SF<sub>6</sub> para esa fase. En la práctica, no siempre es posible obtener datos sobre cada planta; en estos casos, los países pueden utilizar uno de los métodos de extrapolación analizados en la Sección 8.2.2.3, Elección de los datos de la actividad.

### ***Emisiones de la fabricación de los equipos***

Las *emisiones de la fabricación de los equipos* pueden estimarse utilizando, un enfoque por *equilibrio de masas puro*, o una combinación (*híbrido*) del enfoque por equilibrio de masas para algunos procesos y uno basado en un factor de emisión para otros. Se prefiere el enfoque por equilibrio de masas puro, excepto para los casos en los que una fracción sustancial de las emisiones del fabricante provienen de procesos cuyos índices de emisiones están por debajo del nivel de precisión requerido por el enfoque por equilibrio de masas (p. ej., 3 por ciento de la capacidad nominal por año, o menos). En estos casos, es una *buena práctica* utilizar los factores de emisión para estimar las emisiones procedentes de los procesos con índices de emisión muy bajos y utilizar el enfoque por equilibrio de masas para estimar las emisiones procedentes de los otros procesos de fabricación.

*Enfoque por equilibrio de masas puro*: Al usar el enfoque por equilibrio de masas puro, es posible estimar las emisiones totales de cada fabricante de equipos empleando la siguiente ecuación:

**ECUACIÓN 8.4A**  
**EMISIONES DE LA FABRICACIÓN DE LOS EQUIPOS – EQUILIBRIO DE MASAS PURO**

$$\begin{aligned}
 \text{Emisiones de la fabricación de los equipos} = & \text{Disminución de existencias de SF}_6 + \text{Adquisiciones de SF}_6 \\
 & - \text{Desembolsos de SF}_6
 \end{aligned}$$

Donde:

*Disminución de existencias de SF<sub>6</sub>* = SF<sub>6</sub> almacenado en los contenedores al principio del año – SF<sub>6</sub> almacenado en los contenedores al final del año

*Adquisiciones de SF<sub>6</sub> = SF<sub>6</sub> comprado a los productores químicos o a los distribuidores a granel + SF<sub>6</sub> devuelto por los usuarios o distribuidores de equipos con (o dentro de) los equipos + SF<sub>6</sub> devuelto a la instalación después de haber sido reciclado en el exterior*

*Desembolsos de SF<sub>6</sub> = SF<sub>6</sub> contenido en los equipos nuevos entregados a los clientes + SF<sub>6</sub> entregado en contenedores a los usuarios de los equipos + SF<sub>6</sub> devuelto a los proveedores + SF<sub>6</sub> enviado al exterior de la instalación para ser reciclado + SF<sub>6</sub> destruido*

*Enfoque híbrido:* Este método exige que los fabricantes separen los flujos de gases asociados con los procesos para los cuales se empleará el enfoque por equilibrio de masas, de los flujos de gases asociados con los procesos para los cuales se empleará el enfoque por factor de emisión. Las emisiones de los primeros pueden estimarse con el enfoque delineado en la Ecuación 8.4A. Las emisiones de los últimos pueden estimarse multiplicando la capacidad nominal total de los equipos que efectúan cada proceso (p. ej., el llenado), por el factor de emisión específico del país o de la planta para ese proceso. Las emisiones totales para cada fabricante se estiman entonces sumando las emisiones de ambos conjuntos de procesos, empleando la ecuación siguiente:

**ECUACIÓN 8.4B**

**EMISIONES DE LA FABRICACIÓN DE LOS EQUIPOS – HÍBRIDO**

*Emisiones de la fabricación de los equipos = Ecuación 8.4A*

$+ \sum \text{Capacidad nominal de los equipos que efectúan cada proceso}^*$

• *Factor de emisión para ese proceso*

\* Excluido lo cubierto por la Ecuación 8.4.A

### ***Emisiones de la instalación de los equipos***

*Las emisiones producidas durante la instalación de los equipos* pueden estimarse con un enfoque, por *equilibrio de masas* o por *factor de emisión*. Nuevamente, se prefiere el enfoque por equilibrio de masas, excepto cuando los índices de emisión son muy bajos.

*Enfoque por equilibrio de masas puro:* Al usar el enfoque por equilibrio de masas puro, las emisiones totales de cada instalador de equipos pueden estimarse empleando la siguiente ecuación:

**ECUACIÓN 8.4A**

**EMISIONES DE LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS – EQUILIBRIO DE MASAS PURO**

*Emisiones de la instalación de los equipos = SF<sub>6</sub> utilizado para cargar los equipos*

*– Capacidad nominal de los equipos nuevos*

*Enfoque híbrido:* Este método primero exige que los usuarios separen los flujos de gases asociados con los equipos para los cuales se empleará el enfoque por equilibrio de masas, de los flujos de gases asociados con los equipos para los cuales se empleará el enfoque por factor de emisión. Las emisiones de los primeros pueden estimarse con el enfoque delineado en la Ecuación 8.5A. Las emisiones de los últimos pueden estimarse multiplicando la capacidad nominal recientemente instalada de cada tipo de equipo, por el factor de emisión específico del país o de la instalación para ese tipo. Las emisiones totales para cada instalador se estiman sumando las emisiones de ambos conjuntos de equipos, empleando la ecuación siguiente:

**ECUACIÓN 8.5B**

**EMISIONES DE LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS – HÍBRIDO**

*Emisiones de la instalación de los equipos = Ecuación 8.5A +*

$\sum \text{capacidad nominal de los equipos nuevos cargados en el sitio}^* \bullet \text{Factor de emisión de instalación}$

\* Excepto lo que está cubierto por la Ecuación 8.5A

### ***Emisiones del uso de los equipos***

*Las emisiones producidas durante el uso de los equipos* pueden estimarse con un enfoque, ya sea por *equilibrio de masas puro* o *híbrido*. Es probable que el enfoque por equilibrio de masas puro sea el apropiado para los países donde: (1) los equipos eléctricos que utilizan el SF<sub>6</sub> hayan estado en uso durante 10 a 20 años, o más, y (2) las emisiones procedentes de los sistemas de presión sellados sean probablemente insignificantes. Es probable que el método híbrido sea apropiado para los demás países.

*Enfoque por equilibrio de masas puro:* Al usar el enfoque por equilibrio de masas puro, las emisiones totales de cada equipo pueden estimarse empleando la siguiente ecuación:

|  |
|--|
| <p><b>ECUACIÓN 8.6A</b></p> <p><b>EMISIONES DEL USO DE LOS EQUIPOS – EQUILIBRIO DE MASAS PURO</b></p> <p><i>Emisiones del uso de los equipos = <math>SF_6</math> para recargar equipos de presión cerrados en mantenimiento</i></p> <p><i>– <math>SF_6</math> recuperado de equipos de presión cerrados en mantenimiento</i></p> |
|--|

*Enfoque híbrido:* Este método primero exige que los usuarios separen los flujos de gases asociados con los equipos para los cuales se empleará el enfoque por equilibrio de masas, de los flujos de gases asociados con los equipos para los cuales se empleará el enfoque por factor de emisión. Las emisiones de los primeros pueden estimarse con el enfoque delineado en la Ecuación 8.6A. Las emisiones de los últimos pueden estimarse multiplicando la capacidad nominal total de cada tipo de equipo, por el factor de emisión específico del país o de la instalación para ese tipo de equipo. Es probable que el enfoque por factor de emisión sea más exacto para los equipos de presión sellados en todo lugar y para todos los tipos de equipos, en los países donde los equipos eléctricos hayan sido usados durante menos de 10 a 20 años. Las emisiones totales para cada usuario se estiman entonces sumando las emisiones de ambos conjuntos de equipos, empleando la ecuación siguiente:

|  |
|--|
| <p><b>ECUACIÓN 8.6B</b></p> <p><b>EMISIONES DEL USO DE LOS EQUIPOS – HÍBRIDO</b></p> <p><i>Emisiones del uso de los equipos = Ecuación 8.6A</i></p> <p><i>+ <math>\sum</math> Capacidad nominal de los equipos instalados*</i></p> <p><i>• Factor de emisión del uso</i></p> |
|--|

\* Excluido lo cubierto por la Ecuación 8.6A

### ***Emisiones de la eliminación y uso final de los equipos***

Las *emisiones producidas durante la eliminación y el uso final de los equipos* pueden estimarse con un enfoque, por *equilibrio de masas puro* o *híbrido*. En ambos enfoques, las emisiones procedentes de los equipos de presión cerrados se estiman empleando una ecuación de equilibrio de masas. En el enfoque por equilibrio de masas puro, las emisiones procedentes de los equipos de presión sellados también se estiman empleando una ecuación de equilibrio de masas. En el enfoque híbrido, las emisiones de los sistemas de presión sellados se estiman empleando un término basado en un factor de emisión.

*Enfoque por equilibrio de masas puro:* En los países donde la infraestructura de recolección de los gases (incluidos los equipos de recuperación, la capacitación del personal técnico y los incentivos económicos o legales para la recuperación) no está muy bien desarrollada ni ampliamente aplicada, es una *buena práctica* utilizar el enfoque por equilibrio de masas puro, de la manera siguiente:

|  |
|--|
| <p><b>ECUACIÓN 8.7A</b></p> <p><b>EMISIONES DE LA ELIMINACIÓN Y USO FINAL DE LOS EQUIPOS – EQUILIBRIO DE MASAS PURO</b></p> <p><i>Emisiones de la eliminación y uso final = Emisiones de los equipos de presión cerrados</i></p> <p><i>+ Emisiones de los equipos de presión sellados (MB)</i></p> |
|--|

Donde:

*Emisiones de la eliminación y uso final procedentes de los equipos de presión cerrados = Capacidad nominal de los equipos de presión cerrados retirados –  $SF_6$  recuperado desde los equipos de presión cerrados retirados, y*

*Emisiones de la eliminación y del uso final procedentes de los equipos de presión sellados (MB) = Capacidad nominal de los equipos de presión sellados retirados –  $SF_6$  recuperado desde los equipos de presión sellados retirados*

Nótese que si el compilador del inventario utiliza el enfoque por factor de emisión para estimar las «emisiones de uso» procedentes de los equipos de presión sellados, debe restar un término de la segunda ecuación para evitar el cómputo doble. Véase el Cuadro 8.1, Prevención de los cómputos dobles y de las omisiones de emisiones: Dos ejemplos para explicar este término.

*Enfoque híbrido:* en los países donde la eliminación de los equipos es un proceso bien controlado y comprendido (es decir, donde existe una buena infraestructura de recolección de gas), y donde las emisiones procedentes del

uso de los equipos de presión sellados se contabilizan más arriba como «uso», se puede emplear el método híbrido de la manera siguiente:

**ECUACIÓN 8.7B**  
**EMISIONES DE LA ELIMINACIÓN Y DEL USO FINAL DE LOS EQUIPOS – HÍBRIDO**  
*Emisiones de la eliminación y uso final = Emisiones desde equipos de presión cerrados*  
*+ Emisiones desde equipos de presión sellados (EF)*

Donde:

*Emisiones de la eliminación y del uso final procedentes de los equipos de presión cerrados = Capacidad nominal de los equipos de presión cerrados retirados – SF<sub>6</sub> recuperado desde los equipos de presión cerrados, y*

*Emisiones procedentes de la eliminación de equipos de presión sellados (EF) = [(Capacidad nominal de los sistemas de presión sellados retirados) – (Capacidad nominal de los sistemas de presión sellados retirados • Factor de emisión del uso • Vida útil del equipo)] • (1 – fracción de los equipos que se retiran cuyo SF<sub>6</sub> se recupera • eficiencia de recuperación)*

Como se ha señalado más arriba, las emisiones estimadas mediante el empleo del enfoque anterior deben verificarse periódicamente, p. ej., a través del uso de un enfoque de equilibrio de masas puro y/o de la evaluación de la frecuencia y de las prácticas de recuperación. Los compiladores del inventario deben prestar una atención particular a la fracción de los equipos que se retiran cuyo SF<sub>6</sub> se recupera y a la fracción de la carga recuperada cuando se practica la recuperación («eficiencia de recuperación»). Aun en los países donde la recuperación del SF<sub>6</sub> de los equipos que se retiran es la norma, se puede producir el venteo de un pequeño porcentaje del SF<sub>6</sub>, lo cual eleva los índices de emisión muy por encima del mínimo técnicamente alcanzable y que, en otras circunstancias, habría sido una base razonable para desarrollar un factor de emisión.

### **Emisiones del reciclado y la destrucción del SF<sub>6</sub>**

Algunas emisiones de SF<sub>6</sub> se producen después de que la sustancia química ha sido recuperada. Estas emisiones incluyen: (1) las emisiones asociadas con el reciclado del SF<sub>6</sub>, y (2) las emisiones asociadas con la destrucción del SF<sub>6</sub>. (Las emisiones asociadas con el transporte del SF<sub>6</sub> hacia instalaciones exteriores de reciclado o de destrucción se consideran insignificantes.) En general, se espera que las emisiones procedentes del reciclado de SF<sub>6</sub> sean pequeñas — del orden de menos de un uno por ciento de la cantidad total introducida en el proceso de reciclado. Sin embargo, estas emisiones pueden ser superiores si no se emplean prácticas y equipos de manejo de última generación. En la mayoría de los casos, se espera que el reciclado se produzca en el sitio del usuario o del fabricante del equipo. En otros casos, el reciclado puede realizarse en una instalación de reciclado centralizado que no está asociada con un productor químico. Por último, el reciclado puede tener lugar en las instalaciones del productor químico. Las emisiones procedentes del reciclado realizado por los productores químicos serán contabilizadas como producción química (véase la Sección 3.10 de este volumen) y no deben incluirse aquí.

Las emisiones asociadas con la destrucción de SF<sub>6</sub> dependen de la eficiencia de destrucción del proceso y de la cantidad de SF<sub>6</sub> introducida en él. Dadas la alta estabilidad y temperatura de disociación del SF<sub>6</sub>, la eficiencia de destrucción puede ser tan baja como un 90 por ciento. Por lo tanto, hasta un 10 por ciento del SF<sub>6</sub> introducido en el proceso de destrucción podría ser emitido. Se espera, en general, que la cantidad de gas introducido en el proceso de destrucción sea pequeña en comparación con la que se recicla. Sin embargo, puede variar de un país al otro.

Es una *buena práctica* desarrollar factores de emisión específicos del país que estén basados en una consideración completa de la logística y de las prácticas específicas del país en relación con el reciclado y la destrucción del SF<sub>6</sub>.

Las emisiones procedentes del reciclado del SF<sub>6</sub> pueden estimarse con la ecuación siguiente:

**ECUACIÓN 8.8**  
**EMISIONES PROCEDENTES DEL RECLADO DEL SF<sub>6</sub>\***  
 Emisiones del reciclado = Factor de emisión del reciclado  
 • Cantidad de SF<sub>6</sub> introducida en el proceso de reciclado

\* deben excluirse las emisiones del reciclado que se producen en las instalaciones de producción química

Las emisiones procedentes de la destrucción del SF<sub>6</sub> pueden estimarse con la ecuación siguiente:

**ECUACIÓN 8.9**  
**EMISIONES PROCEDENTES DE LA DESTRUCCIÓN DEL SF<sub>6</sub>**  
 Emisiones de la destrucción = Factor de emisión de la destrucción • Cantidad de SF<sub>6</sub> introducida en el proceso de destrucción

| <b>CUADRO 8.1</b>  |   |
|--|---|
| <b>PREVENCIÓN DE LOS CÓMPUTOS DOBLES Y DE LAS OMISIONES DE EMISIONES: DOS EJEMPLOS</b>   |   |
| <b>Ejemplo 1 – Cómputo doble</b>   | <b>Ejemplo 2 – Omisión</b>  |
| <p><b>Situación:</b> se utiliza un enfoque por factor de emisión para estimar las emisiones procedentes de los equipos de presión sellados durante su uso, y un enfoque por equilibrio de masas para estimar las emisiones producidas durante la eliminación de equipos de presión sellados.</p> | <p><b>Situación:</b> se utiliza un enfoque por equilibrio de masas para estimar las emisiones procedentes de los equipos de presión cerrados durante su <i>uso</i>, pero se emplea un enfoque factor de emisión para estimar las emisiones producidas durante la <i>eliminación</i> de equipos de presión cerrados.</p>   |
| <p><b>Problema potencial:</b> las emisiones producidas durante el uso pueden ser contabilizadas dos veces porque parte del SF<sub>6</sub> que resulta faltante cuando se eliminan los equipos ya ha sido contabilizado como gas emitido durante el uso.</p>                                      | <p><b>Problema potencial:</b> las emisiones que se producen entre la acción de mantenimiento final y el momento de la eliminación de los equipos, son susceptibles de ser omitidas. Estas emisiones «de uso final» pueden justificar una fracción significativa del total de las emisiones producidas durante el uso, en particular si los equipos son recargados cada 10 años o más.</p> |
| <p><b>Solución:</b> restar las emisiones producidas durante el uso dentro del periodo de vida útil (Capacidad nominal de los equipos de sistemas de presión sellados retirados • Factor de emisión del uso • Vida útil de los equipos) de las emisiones producidas durante la eliminación.</p>   | <p><b>Solución:</b> emplear el enfoque por equilibrio de masas, tanto para la fase del uso como para la fase de eliminación en el ciclo de vida útil de los equipos de presión cerrados.</p>  |

**Un caso especial del método de Nivel 3: el nivel de los servicios, enfoque por equilibrio de masas puro**

Los países que satisfacen los criterios de *buenas prácticas* para emplear el enfoque por equilibrio de masas puro más allá de la fase de fabricación de los equipos (es decir, los países donde las emisiones producidas durante las fases de instalación, uso y eliminación de los equipos justifican un 3 por ciento o más de los flujos de gas al nivel de las plantas, donde los equipos eléctricos han sido utilizados durante 10-20 años o más y donde las emisiones procedentes de los equipos de presión sellados son insignificantes), pueden utilizar, con muy poca o sin pérdida de exactitud, una versión simplificada del método de Nivel 3 para estimar las emisiones producidas durante la fase de uso de los equipos. Al ser adicionadas y reformuladas en términos de los flujos de gas al nivel de la planta, las ecuaciones 8.5A, 8.6A, y 8.7A se transforman en la ecuación siguiente:

**ECUACIÓN 8.10**  
**ENFOQUE POR EQUILIBRIO DE MASAS AL NIVEL DE LOS SERVICIOS**  
 Emisiones del usuario = Disminución de las existencias de SF<sub>6</sub> + Adquisiciones de SF<sub>6</sub> – Desembolsos de SF<sub>6</sub> – Aumento neto de la capacidad nominal de los equipos

Donde:

*Disminución de las existencias de SF<sub>6</sub>* = SF<sub>6</sub> almacenado en los contenedores al principio del año – SF<sub>6</sub> almacenado en los contenedores al final del año

*Adquisiciones de SF<sub>6</sub>* = SF<sub>6</sub> comprado a los productores químicos o a los distribuidores a granel + SF<sub>6</sub> comprado a los fabricantes o a los distribuidores de equipos con (o dentro de) los equipos + SF<sub>6</sub> devuelto a la instalación después de haber sido reciclado al exterior del sitio

*Desembolsos de SF<sub>6</sub>* = SF<sub>6</sub> contenido en los equipos vendidos a otras entidades + SF<sub>6</sub> devuelto a los proveedores + SF<sub>6</sub> enviado al exterior de la instalación para ser reciclado + SF<sub>6</sub> destruido

*Aumento neto de la capacidad nominal de los equipos* = Capacidad nominal de los equipos nuevos – Capacidad nominal de los equipos que se retiran

Aunque el enfoque al nivel de los servicios es menos detallado que el enfoque del ciclo de vida útil completo, es simple y proporciona, a los países cuyas circunstancias nacionales permiten su empleo, estimaciones estrechamente relacionadas con las pérdidas efectivas de gas.

## EMISIONES DE SF<sub>6</sub> PROCEDENTES DE LA FABRICACIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS

Algunos componentes de los equipos eléctricos pueden contener un 1 por ciento o menos, en peso, del SF<sub>6</sub> utilizado en el medio aislante del producto. Estos componentes incluyen, sin carácter taxativo, los transformadores de tensión intermedia para aparatos de medida con resinas moldeadas y los aisladores pasamuros de alta tensión. En los transformadores de tensión intermedia (hasta 52 kV) para aparatos de medida con resinas moldeadas, el SF<sub>6</sub> se emplea para llenar las micro-cavidades de la resina aislante para mejorar la calidad dieléctrica y la durabilidad del producto. En los aisladores pasamuros de alta tensión (más de 52 kV), el SF<sub>6</sub> se emplea como agente espumante en la resina de poliuretano empleada en ciertas partes del sistema de aislación para mejorar la calidad dieléctrica y la durabilidad del producto.

Las emisiones de SF<sub>6</sub> se producen únicamente durante el proceso de moldeo y/o soplado utilizado para lograr la aislación sólida del producto. Se supone que todo el SF<sub>6</sub> utilizado se emite en la etapa de fabricación. Para estimar las emisiones de esta fuente se puede emplear el enfoque por equilibrio de masas puro para los fabricantes de equipos (Ecuación 8.4A), definiendo el SF<sub>6</sub> confinado en los equipos nuevos igual a cero.

Las medidas de reducción de las emisiones se concentran en la limitación de las pérdidas y/o en el mejoramiento de la tasa de reciclado utilizando dispositivos de succión y/o procesos mejorados de moldeo. En este tipo de aisladores pasamuros de alta tensión, el SF<sub>6</sub> podrá ser reemplazado por otro agente espumante en el futuro.

### 8.2.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Debido a que los índices de emisión pueden variar, no sólo de un país a otro, sino de una planta a otra, se alienta a los compiladores del inventario que emplean los métodos basados en factores de emisión a desarrollar sus propios factores de emisión. Una manera efectiva de desarrollar estos factores es sondear una muestra representativa de fabricantes de equipos y de servicios en el país. En general, es una *buena práctica* documentar las pruebas y los razonamientos en los cuales se apoyan los factores de emisión seleccionados y revisar estos factores por lo menos cada 5 años.

Entre los factores que influyen en los índices de emisión incluyen el diseño de los equipos (que varía según cuándo y dónde se fabrican los equipos), las prácticas de manejo del SF<sub>6</sub>, la disponibilidad de los equipos de manejo de última generación, los precios del SF<sub>6</sub> y la reglamentación (p. ej., los requisitos de recuperación). La variación de cualquiera de estos factores puede afectar los índices de emisión a lo largo del tiempo o entre los países.

#### MÉTODO DE NIVEL 1

Se han desarrollado factores de emisión por defecto basados en investigaciones recientes, que se sugieren para algunas regiones. Se muestran estos factores en los Cuadros 8.2-8.4, más abajo:

Es una *buena práctica* seleccionar los factores de emisión por defecto de los países y las regiones donde los diseños de los equipos y las prácticas de manejo del SF<sub>6</sub> son similares a los del país cuyas emisiones se están estimando. Dado que el Japón y Europa suministran la mayor parte de la demanda mundial de equipos eléctricos, es muy probable que los diseños de los equipos sean similares, a los del Japón o a los de Europa. Con la excepción de los factores para los Estados Unidos, los factores de emisión por defecto regionales son los que están documentados para 1995, es decir, antes de que se implementara cualquiera medida industrial especial de reducción. En el Japón, en 1995, se recuperó aproximadamente el 70 por ciento del SF<sub>6</sub> utilizado para los ensayos de los equipos durante la fabricación y se recuperó un porcentaje similar durante el mantenimiento de los equipos de 110 kV o más. (La fracción del 70 por ciento de recuperación reflejaba la recuperación a una presión inicial de 5 bar. absolutos hasta una presión final de 1 a 1,5 bar. absolutos) No se recuperó el gas de los equipos diseñados para menos de 110 kV (Maruyama *et al.*, 2000). En Europa, en 1995, los sistemas de suministro de gas para la fabricación de equipos estaban generalmente descentralizados y los tubos de llenado no eran de cerrado automático. Durante la fabricación y el mantenimiento, el gas se recuperó a una presión de aproximada de 0,05 bar. absolutos (Ecofys, 2005).

| <b>CUADRO 8.2</b><br><b>EQUIPOS ELÉCTRICOS DE PRESIÓN SELLADOS (CONMUTADORES DE TENSIONES INTERMEDIAS) QUE CONTIENEN SF<sub>6</sub>:</b><br><b>FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO</b> |      |   |  |   |  |
|--|------|---|--|---|--|
| Región   | Fase | Fabricación<br>(Fracción del consumo de SF <sub>6</sub> por fabricante) | Uso (incluye fugas, fallas principales y/o rupturas de arco y pérdidas de mantenimiento)<br>(Fracción anual de la capacidad nominal de todos los equipos instalados) | Eliminación<br>(Fracción de la capacidad nominal de los equipos eliminados) |  |
|  |      |   |  | Vida útil (años)  | Fracción de la carga remanente en el momento del retiro <sup>b</sup> |
| Europa <sup>a</sup>  |      | 0,07  | 0,002  | >35   | 0,93   |
| Japón <sup>c</sup>   |      | 0,29  | 0,007  | No declarado  | 0,95   |

<sup>a</sup> Fuente: 'Reductions of SF<sub>6</sub> Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe,' Ecofys, June, 2005.

<sup>b</sup> Se refiere al porcentaje de la carga original o de la capacidad nominal que permanece en los equipos al término de la vida útil; representa la fracción de la capacidad nominal eventualmente emitida antes de que los equipos hayan sido reciclados o eliminados.

<sup>c</sup> Basado en datos declarados por la federación de compañías eléctricas y la asociación de fabricantes eléctricos del Japón (*Federation of Electric Power Companies (FEPC), Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA)*) (FEPC and JEMA, 2004). Al declarar los factores de emisión promedio, estas organizaciones no distinguían entre los tipos de equipos. Por lo tanto, se prevé que estos factores se apliquen a todos los tipos de equipos, incluidos los sistemas de presión sellados, los sistemas de presión cerrados y los transformadores con aislación de gas.

Nota: Los factores de emisión presentados más arriba reflejan las prácticas y las tecnologías en uso en 1995, es decir, antes de que se implementaran las medidas de mitigación. En las referencias para las notas a y c se muestra cómo se desarrollaron ulteriormente a través de la implementación sucesiva de varias medidas voluntarias. En otra referencia (Schwarz, 2006) se relacionan los factores de emisión de última generación con las medidas de mitigación implementadas en Alemania.

| <b>CUADRO 8.3</b><br><b>EQUIPOS ELÉCTRICOS DE PRESIÓN CERRADOS (CONMUTADORES DE ALTA TENSION) QUE CONTIENEN SF<sub>6</sub>:</b><br><b>FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO</b> |      |   |  |   |  |
|---|------|---|--|---|--|
| Región  | Fase | Fabricación<br>(Fracción del consumo de SF <sub>6</sub> por fabricante) | Uso (incluye fugas, fallas principales y/o rupturas de arco y pérdidas de mantenimiento)<br>(Fracción anual de la capacidad nominal de todos los equipos instalados) | Eliminación<br>(Fracción de la capacidad nominal de los equipos eliminados) |  |
|   |      |   |  | Vida útil (años)  | Fracción de la carga remanente en el momento del retiro <sup>c</sup> |
| Europa <sup>a</sup>   |      | 0,085 <sup>b</sup>  | 0,026  | >35   | 0,95   |
| Japón <sup>d</sup>  |      | 0,29 <sup>b</sup>   | 0,007  | No declarado  | 0,95   |
| Estados Unidos <sup>e</sup>   |      | f   | 0,14 <sup>g</sup>  | >35   | h  |

<sup>a</sup> Fuente: 'Reductions of SF<sub>6</sub> Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe,' Ecofys, June, 2005.

<sup>b</sup> Incluye las emisiones procedentes de la instalación

<sup>c</sup> Se refiere al porcentaje de la carga original o de la capacidad nominal que permanece en los equipos al término de la vida útil; representa la fracción de la capacidad nominal emitida antes que los equipos hayan sido reciclados o eliminados.

<sup>d</sup> Basado en datos declarados por la federación de compañías eléctricas y la asociación de fabricantes eléctricos del Japón (*Federation of Electric Power Companies (FEPC), Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA)*) (FEPC and JEMA, 2004). Estas organizaciones declararon factores de emisión promedio que incluyen las emisiones de todos los tipos de equipos, incluidos los sistemas de presión sellados, los sistemas de presión cerrados y los transformadores con aislación de gas.

<sup>e</sup> Tomado del inventario de Estados Unidos, *U.S. Inventory of Greenhouse Gases and Sinks, 1990-2002*. (U.S. EPA, 2004). El valor corresponde a 1999, primer año en que se dispuso de datos representativos específicos del país.

<sup>f</sup> No se dispone de un valor específico del país.

<sup>g</sup> Incluye las emisiones procedentes de la instalación

<sup>h</sup> En Estados Unidos, las emisiones procedentes de la eliminación están incluidas en el factor de emisión del uso.

Nota: Los factores de emisión presentados más arriba reflejan las prácticas y las tecnologías en uso en 1995, es decir, antes de que se implementaran las medidas de mitigación. En las referencias para las notas a y d se muestra cómo se desarrollaron ulteriormente a través de la implementación sucesiva de varias medidas voluntarias. Schwarz (2006) relaciona los factores de emisión de última generación con las medidas de mitigación implementadas en Alemania.



| CUADRO 8.4<br>TRANSFORMADORES CON AISLACIÓN DE GAS QUE CONTIENEN SF <sub>6</sub> : FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO |      |   |   |  |  |
|--|------|---|---|--|--|
| Región   | Fase | Fabricación<br>(Fracción del<br>consumo de SF <sub>6</sub><br>por fabricante) | Uso (incluye fugas, fallas<br>principales y/o rupturas de<br>arco y pérdidas de<br>mantenimiento)<br>(Fracción anual de la capacidad<br>nominal de todos los equipos<br>instalados) | Eliminación<br>(Fracción de la capacidad nominal de los<br>equipos eliminados) |  |
|  |      |   |   | Vida útil<br>(años)  | Fracción de la carga<br>remanente en el momento<br>del retiro <sup>a</sup> |
| Japón <sup>b</sup>   |      | 0,29  | 0,007   | No<br>declarado  | 0,95   |

<sup>a</sup> Se refiere al porcentaje de la carga original o de la capacidad nominal que permanece en los equipos al término de la vida útil; representa la fracción de la capacidad nominal emitida antes de que los equipos hayan sido reciclados o eliminados.

<sup>b</sup> Basado en datos declarados por la federación de compañías eléctricas y la asociación de fabricantes eléctricos del Japón (*Federation of Electric Power Companies (FEPC), Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA)*) (FEPC and JEMA, 2004). Al declarar los factores de emisión promedio, estas organizaciones no distinguían entre los tipos de equipos. Por lo tanto, se prevé que estos factores se apliquen a todos los tipos de equipos, incluidos los sistemas de presión sellados, los sistemas de presión cerrados y los transformadores con aislación de gas.

Nota: Los factores de emisión presentados más arriba reflejan las prácticas y las tecnologías en uso en 1995, es decir, antes de que se implementaran las medidas de mitigación. En las referencias para la nota b se muestra cómo se desarrollaron ulteriormente a través de la implementación sucesivas de varias medidas voluntarias. Schwarz (2006) relaciona los factores de emisión de última generación con las medidas de mitigación implementadas en Alemania.

## MÉTODO DE NIVEL 2

Los factores de emisión para el método de Nivel 2 se desarrollan generalmente sobre la base de datos recopilados de los fabricantes y de las empresas de servicios representativos que efectúan un seguimiento de las emisiones por etapa del ciclo de vida útil, utilizando esencialmente el método de equilibrio de masas puro de Nivel 3 en sus propias instalaciones durante un año, por lo menos. (El factor de emisión para la eliminación debe dar cuenta también de las emisiones que se producen ulteriormente fuera del sitio del servicio, como se analiza a continuación.) Para desarrollar los factores de emisión, estas emisiones por etapa del ciclo de vida útil se dividen por el correspondiente consumo de SF<sub>6</sub> o por la capacidad de los equipos en la etapa correspondiente del ciclo de vida útil (es decir, el consumo de SF<sub>6</sub> para las emisiones procedentes de la fabricación, la capacidad total de los equipos existentes para las emisiones procedentes del uso y la capacidad de los equipos que se retiran para las emisiones procedentes del uso final y de la eliminación). Por ejemplo, para desarrollar un factor de emisión para la fabricación, se suman las emisiones totales obtenidas a través del sondeo de los fabricantes y se divide luego el resultado por el consumo total de SF<sub>6</sub> de los fabricantes encuestados. Este factor de emisión puede aplicarse luego al sector fabricación en su conjunto, utilizando el consumo nacional de SF<sub>6</sub> que corresponde a los fabricantes. Un enfoque similar puede emplearse para estimar y aplicar los factores de emisión para el uso de los equipos.

El factor de emisión para la eliminación debe tomar bien en cuenta tres factores: (1) la frecuencia de recuperación (la fracción de los equipos cuya carga se recupera); (2) la eficiencia de recuperación (la fracción de la carga recuperada cuando se efectúa la recuperación); y (3) las emisiones procedentes del reciclado y la destrucción del gas recuperado. Las cantidades (1) y (2) serán justificadas automáticamente por los factores de emisión que se basan en el empleo del método de equilibrio de masas de Nivel 3 para los servicios representativos. Sin embargo, la cantidad (3) refleja las emisiones que se producen, tanto en el sitio mismo como ulteriormente, fuera del servicio y/o del sitio del usuario. Por lo tanto, debe contabilizarse por separado. Véase el análisis del Método de Nivel 3, más abajo, para obtener una orientación sobre la estimación de los factores de emisión correspondientes al reciclado y a la destrucción.

La variante del enfoque de Nivel 3 al nivel de la instalación puede emplearse también para desarrollar los factores de emisión, pero éstos se aplicarán a un nivel más agregado, es decir, a la fabricación y al uso de los equipos (donde lo último incluye la instalación, el uso y la eliminación), en vez de aplicarlos a cada etapa del ciclo de vida útil.

## MÉTODO DE NIVEL 3

Dado que el método de Nivel 3 fomenta el uso de factores de emisión sólo cuando los índices de emisión de los procesos son bastante bajos (p. ej., 3 por ciento de la capacidad nominal anual o menos) o sólo cuando los equipos eléctricos han sido introducidos recientemente en un país, puede ser difícil medir directamente los factores de emisión para este método con un enfoque por equilibrio de masas. Por lo tanto, para estimar los factores de emisión de Nivel 3 se puede recurrir a estudios de ingeniería que identifiquen los puntos de fugas potenciales y los mecanismos de las pérdidas, y les asignen las respectivas probabilidades e índices de emisión. Las fugas esperadas provenientes del servicio y del mantenimiento deben convertirse en factores correspondientes a los índices de emisión globales, así como deben serlo también las pérdidas provenientes de

sucesos infrecuentes pero catastróficos cuyos resultados se traducen en la pérdida de la mayor parte de la carga de los equipos. Debe considerarse la experiencia pasada con procesos y diseños similares. Para confirmar y verificar los factores de emisión para su uso, se pueden realizar encuestas en el campo después de varios años de uso de los equipos, determinando el número de años mediante el índice esperado de fugas y el límite de detección de los equipos de medición. Para ayudar a asegurar que los índices de pérdidas catastróficas o graduales no sean superiores a lo esperado, hay que monitorear las estadísticas de los fabricantes relativas a las tasas de falla de los equipos. Las emisiones procedentes de la eliminación son en extremo sensibles a las frecuencias de recuperación (la fracción de los equipos cuyas cargas se recuperan) y a las eficiencias de recuperación (1 fracción de la carga recuperada cuando se efectúa la recuperación, la cual, debido a consideraciones de tiempo, puede ser inferior a lo que es técnicamente alcanzable). Por lo tanto, éstas deben monitorearse y documentarse cuidadosamente antes de determinar los factores de emisión para la eliminación.

Los factores de emisión para el reciclado de SF<sub>6</sub> recuperado pueden basarse en el dictamen de profesionales. Los factores de emisión para la destrucción pueden basarse en la eficiencia de destrucción acreditada de la tecnología de destrucción, bajo la suposición de que la tecnología se mantiene y se opera de una manera que mantiene su eficiencia de destrucción acreditada.

### 8.2.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los datos de la actividad necesarios para implementar los distintos métodos de estimación pueden obtenerse de los fabricantes químicos, de los fabricantes, usuarios y eliminadores de equipos y/o de sus asociaciones industriales en el país o la región. Las mejores fuentes de datos varían según los métodos y las circunstancias nacionales.

#### MÉTODO DE NIVEL 1

**Consumo de SF<sub>6</sub> por los fabricantes de equipos:** El consumo de SF<sub>6</sub> por los fabricantes de equipos puede estimarse utilizando la información de los fabricantes sobre sus compras de SF<sub>6</sub>, sus devoluciones de SF<sub>6</sub> a los productores químicos y los cambios ocurridos en las existencias de SF<sub>6</sub> en los contenedores. Si no se dispone de información de los fabricantes de equipos, o si ésta es incompleta, se puede utilizar la información proporcionada por los productores químicos y/o los distribuidores respecto de sus ventas a los fabricantes de equipos (menos las devoluciones).

**Capacidad nominal de los equipos nuevos y los que se retiran:** La capacidad nominal puede estimarse utilizando una o más de las siguientes fuentes de datos: (1) la información de los fabricantes y/o importadores de equipos sobre la capacidad nominal total de los equipos que fabrican o importan y exportan; (2) la información de los servicios sobre la capacidad nominal total de los equipos que instalan y retiran cada año, o (3) si no se dispone de la información de (1) o (2), la información de los fabricantes y/o importadores de sustancias químicas sobre sus ventas de SF<sub>6</sub> a los fabricantes de equipos. Las dos primeras fuentes de datos son preferibles a la tercera, pues las ventas de gases a los fabricantes de equipos será diferente de la capacidad nominal de los equipos nuevos instalados en el país, en particular si las importaciones o exportaciones de equipos son significativas. Al estimar las capacidades nominales de los equipos nuevos y de los que se retiran, los compiladores del inventario deben incluir la capacidad nominal de los equipos importados y excluir la capacidad nominal de los equipos exportados. (Para un análisis completo sobre la manera de tratar las importaciones y exportaciones al estimar estas cantidades, véase la Sección 7.5, Refrigeración, Recuadro 7.1, Contabilización de las importaciones y exportaciones de refrigerantes y de equipos. Esta orientación es directamente aplicable a esta categoría.)

En el caso de los equipos que se retiran, la información sobre capacidades o sobre ventas debe ser histórica y comenzar en el año de fabricación de los equipos que se retiran en el año en curso. Los valores típicos para la vida útil de los equipos eléctricos varían en un intervalo de 30 a 40 años. Si no se dispone de información sobre la capacidad nominal total de los equipos que se retiran, se la puede estimar a partir de la capacidad nominal nueva, utilizando la tasa de crecimiento anual de la capacidad de los equipos. Al estimar la tasa de crecimiento, es una *buena práctica* considerar tanto la cantidad de equipos vendidos cada año y la capacidad nominal promedio de los equipos.<sup>3</sup>

Si esta información no puede obtenerse directamente, puede emplearse la ecuación siguiente para estimar la capacidad nominal que se retira:

---

<sup>3</sup> Aunque, en general, la cantidad de equipos vendidos cada año ha crecido, el promedio de la capacidad nominal ha disminuido.

**ECUACIÓN 8.11****CAPACIDAD NOMINAL QUE SE RETIRA**

$$\text{Capacidad Nominal que se retira} = \text{Capacidad nominal nueva} / (1 + g)^L$$

Donde:

L = Vida útil promedio de los equipos

g = tasa de crecimiento

Según una encuesta mundial de 2004, la tasa de crecimiento anual promedio de las ventas de SF<sub>6</sub> a los fabricantes de equipos entre 1970 y 2000 fue aproximadamente de un 9 por ciento. (Smythe, 2004). A falta de información específica del país, se puede usar un factor por defecto del 9 por ciento.

**Capacidad nominal total de los equipos instalados:** La capacidad nominal total de los equipos puede estimarse recurriendo a las mismas fuentes de datos utilizadas para estimar la capacidad nominal de los equipos nuevos y de los que se retiran. Si se usan los datos de los fabricantes de equipos, se deben incluir los datos sobre las ventas durante todo el periodo de vida útil de los equipos (30 a 40 años).

**MÉTODO DE NIVEL 2**

Las cantidades pueden estimarse igual que para el Nivel 1, analizado más arriba.

**MÉTODO DE NIVEL 3**

Para implementar el método de Nivel 3, debe recopilarse la información en dos niveles. Al nivel de la instalación, los flujos de gas deben determinarse correctamente según el método de Nivel 3. Al nivel nacional, la información proveniente de las plantas (fabricantes, usuarios y eliminadores de equipos) debe recopilarse, verificarse, sumarse y, si fuere necesario, extrapolarse para incluir las estimaciones de las emisiones procedentes de las instalaciones que no hacen acopio de datos en el país. La orientación relacionada con la información que debe ser buscada y recopilada por instalación se proporcionan más arriba, en las descripciones del método de Nivel 3. El consumo de gas puede medirse pesando los cilindros de gas antes y después de las operaciones de carga o recuperación, o bien, al comienzo y al final del año o utilizando los medidores de flujo (p. ej., durante la fabricación de los equipos). Al nivel nacional, las asociaciones comerciales de fabricantes de equipos y de servicios pueden ser de una gran ayuda para difundir conocimiento a sus miembros, respecto del enfoque de Nivel 3 y ayudarlos a que realicen el seguimiento y declaren los datos de manera coherente y transparente. Las asociaciones comerciales pueden actuar también como terceros para agregar los datos confidenciales o sensibles, de modo que puedan hacerse públicos (de manera agregada). En los países donde las asociaciones no son activas, los compiladores del inventario nacional pueden facilitar el acopio de información al nivel de la instalación, así como declarar y verificar esta información desarrollando protocolos de seguimiento de los modelos de emisión o adoptando protocolos industriales existentes que encarnen el enfoque de Nivel 3. Luego pueden distribuirse estos protocolos a los fabricantes, usuarios y eliminadores de los equipos eléctricos. Los protocolos electrónicos como las hojas de cálculo facilitan aún más el seguimiento, la documentación y la declaración de las emisiones, y minimizan las posibilidades de cometer errores de aritmética.

Debido a que los índices de emisión pueden variar de una región a otra y de una planta a otra, es una *buena práctica* sondear tantas instalaciones como sea realizable. Además de encuestar a los fabricantes y a los servicios, los países deben sondear los sitios industriales y otros sitios que no son servicios eléctricos públicos, si éstos contribuyen de manera sustancial a las emisiones provenientes de los equipos eléctricos. Si la cantidad de instalaciones de un país es grande (p. ej., más de 50), puede resultar difícil realizar declaraciones completas. En estos casos, los países pueden estimar las emisiones provenientes de las instalaciones que no declaran aplicándoles los métodos de Nivel 2 o utilizando datos de la actividad alternativos, como los descritos en el Capítulo 2 del Volumen 1, Métodos para la recopilación de datos. Más abajo se analizan algunas consideraciones específicas de los sectores respecto de la selección y el uso de los datos alternativos de la actividad.

Para los equipos de presión sellados (que están muy dispersos entre los usuarios industriales y entre los servicios), es probable que los fabricantes y los distribuidores sean las mejores fuentes de información completa sobre el tamaño de los bancos nacionales y los índices de emisión. Para desarrollar una estimación exacta, los compiladores del inventario deben encuestar a los fabricantes en relación con sus ventas de equipos en el periodo transcurrido entre el presente y el momento en que fueron instalados los equipos que se retiran actualmente, o bien, si los equipos no han comenzado a ser retirados aún, entre el presente y el momento en que los equipos fueron introducidos al país.

### Consideraciones específicas de los sectores respecto de la selección y el uso de los datos alternativos de la actividad para el Nivel 3

Como se ha analizado más arriba, aún cuando se implemente un método de Nivel 3, quizá no sea posible obtener datos proporcionados por todas las instalaciones. Para lograr una cobertura completa de las instalaciones, es posible utilizar datos de la actividad alternativos. Para estimar las emisiones producidas por los fabricantes que no declaran, puede ser posible utilizar la capacidad de fabricación y/o la parte del mercado colectivo (en términos de unidades funcionales) de los fabricantes no declarantes. Para estimar las emisiones de los servicios no declarantes, los posibles conjuntos de datos alternativos o indicadores incluyen (sin carácter taxativo): el largo de las líneas de transmisión, el largo combinado de las líneas de transmisión y distribución o la cantidad de subestaciones de los servicios no declarantes. Es probable que los kilómetros de líneas de transmisión sean un buen indicador de predicción de las emisiones, en los lugares donde la mayor parte del SF<sub>6</sub> se emplea en los equipos de transmisión de alta tensión, como los Estados Unidos. (En el Volumen 1, Capítulo 2, Métodos para la recopilación de datos, se puede consultar un análisis sobre cómo se utilizan los kilómetros de transmisión para estimar las emisiones en los Estados Unidos.) Uno de los otros tipos de datos puede ser apropiado en los lugares donde se utiliza un alto porcentaje del SF<sub>6</sub> en los equipos de distribución de tensiones intermedias o en subestaciones con aislación de gas.

Donde fuere que se utilicen conjuntos de datos alternativos, es importante derivar los factores de emisión a partir de un conjunto representativo de instalaciones, para garantizar que la estimación resultante de emisiones nacionales de SF<sub>6</sub> no resulte sesgada. Nótese que más de un factor puede ser apropiado, p. ej., para los servicios de diferentes tamaños o para los servicios en localidades urbanas versus rurales. Debido a que el uso y los patrones de emisión del SF<sub>6</sub> pueden cambiar con el tiempo, es una *buena práctica* actualizar los análisis y los factores de emisión, por lo menos cada cinco años. (Por ejemplo, los índices de emisión pueden cambiar a medida que los equipos compactos y a prueba de fugas vienen a reemplazar los equipos más grandes y con altos índices de fuga, y que crece la importancia de los equipos de presión sellados.) En algunos casos, los países pueden estar en condiciones de hacer uso de los factores de emisión desarrollados en países con redes de tendidos eléctricos similares. En estos casos, es una *buena práctica* documentar las similitudes existentes entre las redes de tendidos eléctricos, antes de aplicar el factor de emisión del otro país.

#### 8.2.2.4 EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad para esta categoría de fuente requiere contabilizar las emisiones producidas durante la fabricación, el uso y la eliminación de los equipos, así como durante el reciclado o la destrucción del SF<sub>6</sub> recuperado de los equipos. Donde se usen los métodos de Nivel 3, la exhaustividad requiere que todos los usuarios significativos de SF<sub>6</sub> (fabricantes y servicios) estén identificados. Cuando no se disponga de datos sobre las emisiones al nivel de las instalaciones de todos estos usuarios, deben desarrollarse las estimaciones de las emisiones para todos utilizando uno de los métodos de extrapolación descritos en la Sección 8.2.2.3, Elección de los datos de la actividad.

En el sector de la fabricación, exige evaluar las emisiones provenientes de:

- Fabricación de conmutadores y subestaciones con aislación de gas (GIS), disyuntores a gas (GCB), líneas de alta tensión con aislación de gas (GIL), transformadores para instrumentos de medición para exterior con aislación de gas, reconectores, interruptores, unidades de circuitos anulares de ambos tipos (sistemas de presión sellados y cerrados, de hasta 52 kV y tensiones superiores, respectivamente) y otros equipos, incluidos sin carácter taxativo, los transformadores con resinas moldeadas para aparatos de medida y ciertos tipos de aisladores pasamuros que utilizan el SF<sub>6</sub>, fuere como gas para el proceso de moldeado, o como agente espumante;
- Fabricantes de transformadores de energía con aislación de gas (GIT);
- Usuarios menores del SF<sub>6</sub>, incluidos los rearmadores de equipos y las compañías de servicios;
- La cadena de distribución del SF<sub>6</sub> desde los productores y distribuidores hasta las plantas de fabricación.

En el sector de los servicios y de la eliminación, requiere contabilizar todas las pérdidas de SF<sub>6</sub> asociadas con:

- Instalaciones de equipos eléctricos nuevos;
- Fugas, recargas, mantenimiento y fallas de los equipos;
- Eliminación de equipos eléctricos desechados;
- Reciclado o destrucción del SF<sub>6</sub> recuperado desde los equipos (pero, las emisiones procedentes del reciclado por los productores químicos deben contabilizarse bajo Producción química, lo cual está cubierto en la Sección 3.10 de este volumen).

Es una *buena práctica* identificar e incluir las aplicaciones industriales, militares y de servicios menores si se piensa que éstas aportan sustancialmente al total de las emisiones procedentes de la categoría de fuente de los equipos eléctricos.

### 8.2.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Al estimar las emisiones procedentes de los usuarios de equipos para toda una serie temporal, es necesario considerar las emisiones de SF<sub>6</sub> asociadas con el conjunto completo de equipos utilizados en las instalaciones del usuario durante los años que interesan. Por lo tanto, cuando se utilizan los enfoques basados en bancos y en factores de emisión (p. ej. el enfoque de Nivel 2), los países necesitan información sobre la capacidad y los índices de emisión de los equipos comprados e instalados durante los 30 a 40 años que preceden a los años de interés.

En el sector de los usuarios, si no se dispone de datos históricos, es una *buena práctica* desarrollar estimaciones que empleen el método «de arriba hacia abajo», es decir, desarrollar un modelo basado en un dictamen profesional proporcionado por expertos de la industria y por los compiladores del inventario, y calibrarlas luego como se analiza más abajo. El promedio de los índices de fuga de los equipos nuevos y la frecuencia de las recargas y del mantenimiento de rutina son parámetros que han disminuido desde 1970 a 1995 y esta tendencia continúa hasta el presente. *No es una buena práctica* aplicar los índices de pérdidas globales actuales (posteriores al 2000) a los años históricos. Los índices de pérdidas agregadas estimadas a partir de las ventas históricas pueden usarse también en este caso.

Respecto de la fabricación, si no se dispone de datos históricos para desarrollar las emisiones del año de base de 1990 y/o 1995, se puede aplicar el método «de arriba hacia abajo», calibrándolo según las estimaciones más exactas de los años recientes. Dado que las prácticas de manejo del SF<sub>6</sub> por los fabricantes de equipos han cambiado mucho desde 1995 (p. ej., se recupera más gas), *no es una buena práctica* aplicar los índices de pérdidas actuales a las estimaciones históricas. Los índices de pérdidas agregadas, determinadas a partir de las ventas mundiales y regionales y de los análisis de las emisiones, pueden ayudar a proporcionar una estimación no sesgada para los años anteriores. Es una *buena práctica* recalcular las emisiones según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5, con todas las hipótesis claramente documentadas.

## 8.2.3 Evaluación de incertidumbre

Al emplear el método de Nivel 3, las estimaciones de las emisiones resultantes tendrán un grado de exactitud del orden de  $\pm 10$  por ciento y es probable que sean más exactas que las estimaciones desarrolladas con los métodos de Nivel 2 o 1. Si los sondeos son incompletos, la incertidumbre asociada será mayor. Entre las fuentes particulares de incertidumbre se pueden incluir:

- El SF<sub>6</sub> exportado por los fabricantes de equipos (ya sea en los equipos o aparte, en contenedores);
- El SF<sub>6</sub> importado por los fabricantes extranjeros de equipos (ya sea en los equipos o en contenedores);
- El SF<sub>6</sub> devuelto a las plantas extranjeras de reciclado;
- Las mediciones de masas, densidad y presión (generalmente exactas dentro de un margen de error del uno al dos por ciento de la cantidad total medida, pero si los índices de emisión son bajos, puede ser un porcentaje sustancial respecto de esos índices);
- Los factores de emisión;
- El tiempo de retardo entre las emisiones y el servicio de mantenimiento;<sup>4</sup>
- La vida útil de los equipos;
- Los errores de regresión asociados a cualquier método de extrapolación.

Las incertidumbres estimadas de los factores de emisión por defecto para el método de Nivel 1, se muestran en el Cuadro 8.5, Incertidumbres de los factores de emisión por defecto para las emisiones de SF<sub>6</sub> de los equipos eléctricos. Estos valores están basados en las variaciones observadas en los factores de emisión en Europa. Si los factores de los Cuadros 8.2-8.4 se aplican fuera de los países y/o regiones en los cuales fueron desarrollados, las incertidumbres serán mayores.

<sup>4</sup> Para un análisis de este tema, véase el Capítulo 1 de este volumen.

| CUADRO 8.5<br>INCERTIDUMBRES DE LOS FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO Y DE LA VIDA ÚTIL |      |             |  |                  |   |
|---|------|-------------|--|------------------|---|
| Tipo de equipo  | Fase | Fabricación | Uso (incluye fugas, fallas principales y/o rupturas de arco y pérdidas de mantenimiento) | Eliminación      |   |
|   |      |             |  | Vida útil (años) | Fracción de la carga remanente en el momento del retiro |
| De presión sellado <sup>a</sup>   |      | ±20%        | ±20%   | -20%/+40%        | <sup>d</sup>  |
| De presión cerrado <sup>b</sup>   |      | ±30%        | ±30%   | -10%/+40%        | <sup>d</sup>  |
| Transformadores con aislación de gas <sup>c</sup>                                     |      | ±30%        | ±30%   | -10%/+40%        | <sup>d</sup>  |

<sup>a</sup> Estimado a partir de 'Reductions of SF<sub>6</sub> Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe,' Ecofys, June, 2005; no se dispone de las incertidumbres correspondientes al Japón; no es pertinente para los Estados Unidos.

<sup>b</sup> Estimado a partir de 'Reductions of SF<sub>6</sub> Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe,' Ecofys, June, 2005, los factores de emisión de los Estados Unidos tienen una incertidumbre mayor para la fabricación (±70%) y algo menor para el uso (±15%) (U.S. Inventory of Greenhouse Gases and Sinks (U.S. EPA, 2004)). No se dispone de las incertidumbres correspondientes al Japón.

<sup>c</sup> Estimado por analogía con los sistemas de presión cerrados; las incertidumbres reales pueden ser ligeramente superiores. No se dispone de las incertidumbres correspondientes al Japón.

<sup>d</sup> No se dispone de las incertidumbres correspondientes a la fracción de la carga remanente después del retiro.

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

### 8.2.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, así como procedimientos adicionales de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Más abajo se bosquejan algunos procedimientos adicionales específicos de los equipos eléctricos:

#### Comparación de las estimaciones de emisiones obtenidas mediante los diferentes enfoques

Los compiladores del inventario deben sumar los datos de nivel de instalación que se usan como parte de un método «de abajo hacia arriba» de Nivel 3, y cotejarlos con las emisiones de nivel nacional calculadas usando datos de nivel de país (el método de Nivel 2) y/o datos de nivel de país con los factores de emisión por defecto del IPCC (el método de Nivel 1). De manera similar, el método de Nivel 2 puede cotejarse con los resultados del método de Nivel 1. Los países pueden comparar también sus resultados con aquellos que se han derivado usando un enfoque por equilibrio de masas al nivel del país, como el descrito en las Ecuaciones 7.3 y 7.9 del Capítulo 7. Si los países no tienen instalaciones de fabricación, pueden comparar también sus estimaciones con las emisiones potenciales estimadas utilizando los datos nacionales de consumo aparente.

#### Revisión de los datos de la actividad

En todos los casos en los que los datos sobre las emisiones específicas de un sitio se obtengan a través de encuestas, los compiladores del inventario deben comparar los índices de emisión entre los sitios (ajustando para los tamaños o capacidades relativos) para identificar cualquier valor errático. Deben investigar los valores erráticos para determinar si las diferencias pueden explicarse o si hay errores en las emisiones declaradas. Como se ha señalado en la Sección 8.2.2.3, los compiladores del inventario nacional pueden facilitar tanto el acopio como la verificación de la información al nivel de las instalaciones mediante la distribución de protocolos de seguimiento de las emisiones que comprenden el enfoque de Nivel 3. Los protocolos electrónicos, como las hojas de cálculo, son particularmente útiles pues minimizan la probabilidad de cometer errores aritméticos. De

esta manera, los cálculos incluidos en estos protocolos (fueren electrónicos o no) podrán verificarse después de haber sido presentados.

### Comparación de los índices de emisión con los de otros países

Los compiladores del inventario deben comparar los factores reales de emisión (índices de pérdidas) con los valores declarados por otros países de la región o con los valores por defecto publicados en la bibliografía científica para los equipos con similares diseños y niveles de control de las emisiones. Como se ha señalado más arriba, la transparencia de las declaraciones es esencial para efectuar las comparaciones internacionales.

### 8.2.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

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

En el Cuadro 8.6, Informaciones declarativas de Buena Práctica para las emisiones de SF<sub>6</sub> procedentes de los equipos eléctricos, por nivel, se proporcionan algunos ejemplos de documentación y de informes específicos para esta categoría de fuente, que garantizan la transparencia en las declaraciones de las estimaciones de las emisiones declaradas.

Las cuestiones relacionadas con la confidencialidad pueden surgir cuando hay una cantidad limitada de fabricantes o de servicios. En estos casos, puede ser necesario presentar declaraciones agregadas para la totalidad del sector de los equipos eléctricos o incluso para la totalidad de las aplicaciones del SF<sub>6</sub> a nivel nacional. Las asociaciones nacionales o regionales de usuarios y fabricantes pueden manifestar la voluntad de recopilar, verificar y agregar los datos, en particular cuando han recopilado tales datos de manera histórica. Pueden entonces presentar la información agregada al compilador del inventario, lo cual resuelve así el problema de la confidencialidad. Si las respuestas a las encuestas no pueden divulgarse como información pública, puede ser necesario recurrir a una revisión de terceros para respaldar los esfuerzos de verificación de los datos.

| <b>CUADRO 8.6</b><br><b>INFORMACIONES DECLARATIVAS DE BUENA PRÁCTICA PARA LAS EMISIONES DE SF<sub>6</sub> PROCEDENTES DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS, POR NIVEL</b> |                |                |                |
|--|----------------|----------------|----------------|
| <b>Datos</b>   | <b>Nivel 3</b> | <b>Nivel 2</b> | <b>Nivel 1</b> |
| Consumo anual de SF <sub>6</sub> por los fabricantes de equipos, a escala nacional   |                | X              | X              |
| Capacidad nominal de los equipos nuevos  | X              | X              | X              |
| Capacidad nominal de los equipos existentes  | X*             | X              | X              |
| Capacidad nominal de los equipos que se retiran  | X              | X              | X              |
| SF <sub>6</sub> destruido  | X              |                |                |
| SF <sub>6</sub> en las existencias al comienzo del año   | X              |                |                |
| SF <sub>6</sub> en las existencias al final del año  | X              |                |                |
| SF <sub>6</sub> comprado por la instalación  | X              |                |                |
| SF <sub>6</sub> vendido o devuelto por instalación   | X              |                |                |
| SF <sub>6</sub> expedido fuera del sitio para reciclado  | X              |                |                |
| SF <sub>6</sub> devuelto al sitio después del reciclado  | X              |                |                |
| SF <sub>6</sub> utilizado para cargar los equipos nuevos   | X              |                |                |
| SF <sub>6</sub> utilizado para dar mantenimiento a los equipos   | X              |                |                |
| SF <sub>6</sub> recuperado de los equipos que se retiran   | X              |                |                |
| Factores de emisión y/o recuperación   | X*             | X              |                |
| Documentación sobre los factores, si son específicos del país  | X*             | X              |                |
| * Requerido para algunas variantes de los métodos  |                |                |                |

## 8.3 USO DEL SF<sub>6</sub> Y DE LOS PFC EN OTROS PRODUCTOS

### 8.3.1 Introducción

Esta categoría de fuente excluye las siguientes categorías de fuentes que son abordadas en otros capítulos o secciones de las *Directrices de 2006*:

- La producción del SF<sub>6</sub> y de los PFC (Sección 3.10);
- La producción y el uso de los equipos eléctricos (Sección 8.2);
- La producción primaria y secundaria del magnesio y del aluminio (Capítulo 4); y
- La fabricación de semiconductores y de pantallas planas (Capítulo 6).

Las demás aplicaciones identificadas en esta categoría de fuente incluyen:

- El SF<sub>6</sub> y los PFC utilizados en aplicaciones militares, en particular el SF<sub>6</sub> empleado en los sistemas de radar aerotransportados, p. ej., los Sistemas aerotransportados de alerta y control o AWACS (del inglés, *Airborne Warning and Control System*), y los PFC empleados como fluidos de transferencia térmica en las aplicaciones electrónicas de alta potencia;
- El SF<sub>6</sub> utilizado en los equipos de los aceleradores de partículas de las universidades y de la investigación;
- El SF<sub>6</sub> utilizado en los equipos en los aceleradores de partículas médicos e industriales;
- Las aplicaciones «adiabáticas» que utilizan la baja permeabilidad del SF<sub>6</sub> y de algunos PFC a través del caucho, p. ej., los neumáticos de automóviles y las suelas del calzado deportivo;
- El SF<sub>6</sub> utilizado en las ventanas con vidrios insonorizados;
- Los PFC utilizados como fluidos de transferencia térmica en aplicaciones comerciales y del gran consumo;
- Los PFC utilizados en cosméticos y en aplicaciones médicas;
- Otros usos, p. ej., como sustancias trazadoras de gases en el aire, en los detectores de investigación y detectores de fugas.

### 8.3.2 Cuestiones metodológicas

#### 8.3.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

El método de *buena práctica* es utilizar los datos sobre consumo obtenidos de los usuarios del SF<sub>6</sub> o de los PFC, o los datos «de arriba hacia abajo» sobre las importaciones, exportaciones y consumo, obtenidos de los productores y distribuidores de SF<sub>6</sub>, desagregados por tipos principales de aplicación del SF<sub>6</sub> o de los PFC. La adquisición de estos datos implica un sondeo de todos los productores y distribuidores de SF<sub>6</sub> y PFC, para identificar el consumo neto total de estas sustancias. Una vez que se hayan obtenido los datos, deben estimarse las cantidades de SF<sub>6</sub> y PFC consumidas por aplicación en esta categoría de fuente.

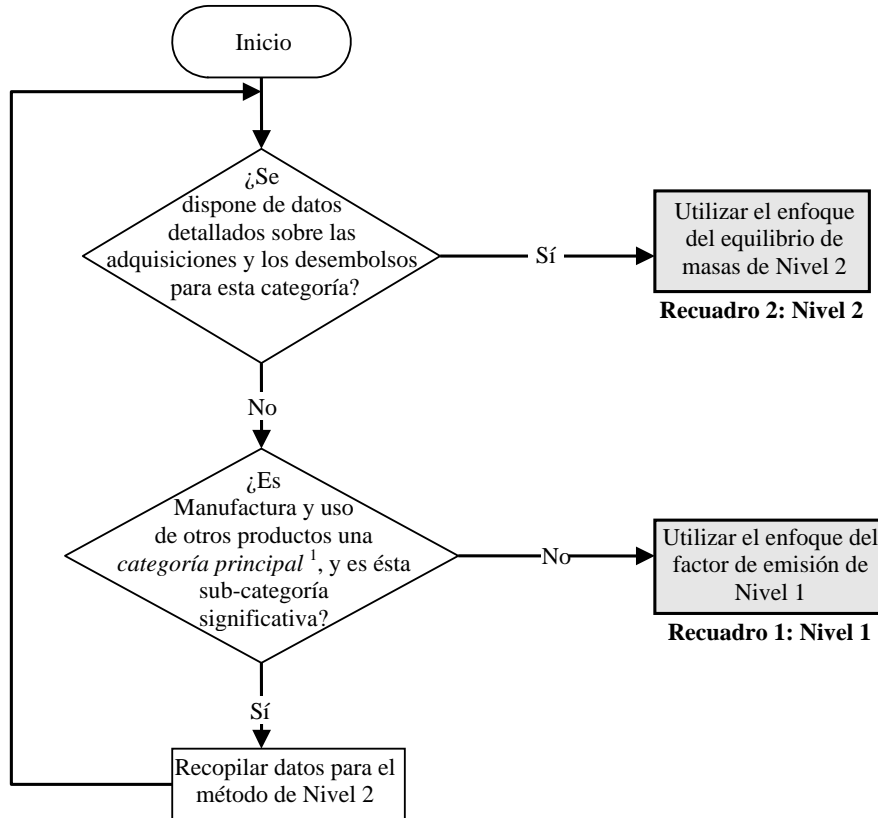
#### APLICACIONES MILITARES

##### EMISIONES DE SF<sub>6</sub> PROCEDENTES DE LA OPERACIÓN DE LOS AWACS

Se emplea el SF<sub>6</sub> como un medio aislante en los sistemas de radar de los aviones de reconocimiento militar de tipo Boeing E-3A, conocidos comúnmente como AWACS. La función del SF<sub>6</sub> es evitar las sobretensiones súbitas en los conductores huecos de la antena, donde predominan tensiones de más de 135 kV. Cuando el avión asciende, se libera el SF<sub>6</sub> automáticamente desde el sistema hacia la atmósfera, con el objetivo de mantener una diferencia de presión apropiada entre el sistema y el aire exterior. Cuando el avión desciende, el SF<sub>6</sub> se carga automáticamente dentro del sistema desde un contenedor de SF<sub>6</sub> a bordo. La mayoría de las emisiones se produce durante el proceso de equilibrio de presiones en el ascenso, pero las emisiones debidas a las fugas del sistema pueden producirse también durante las otras fases del vuelo o durante el tiempo transcurrido en tierra. Las emisiones anuales por avión se han estimado en 740 kg., mientras que la carga de cada sistema es de alrededor de 13 kg.



**Figura 8.2**      **Árbol de decisión para el SF<sub>6</sub> procedente de los AWACS**



Nota :

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

**Método de Nivel 1 – emisiones de SF<sub>6</sub> por avión**

Si un país no dispone de datos sobre el consumo de SF<sub>6</sub> de sus AWACS, para estimar las emisiones puede utilizar un factor de emisión por avión. En el Cuadro 8.7 se presenta un factor de emisión de 740 kg. por avión y por año; esta cifra se basa en las estimaciones de emisiones de SF<sub>6</sub> producidas por los aviones Boeing E-3As de la OTAN. Nótese que influye mucho sobre las emisiones reales por avión la cantidad promedio de despegues por avión y por año. Los despegues más frecuentes aumentan el índice de emisión sobre los 740 kg./avión; los despegues menos frecuentes lo disminuyen. Los índices de fugas durante el vuelo o durante el tiempo transcurrido en tierra afectan también el índice de emisión.

**ECUACIÓN 8.12**  
**EMISIONES PROCEDENTES DE LOS AWACS (FACTOR DE EMISIÓN POR DEFECTO)**  
 Emisiones del usuario = 740 ,kg. • Cantidad de aviones de la flota de AWACS

| <b>CUADRO 8.7</b><br><b>EMISIONES DE SF<sub>6</sub> POR AVIÓN POR AÑO</b> |                      |
|---|----------------------|
| <b>Emisiones por avión por año (kg. de SF<sub>6</sub>)</b>                | <b>Incertidumbre</b> |
| 740 kg.   | ±100 kg.             |
| Fuente: Schwarz (2005)  |                      |

El Cuadro 8.8 incluye información sobre las flotas nacionales de AWACS a escala mundial (Boeing, 2005); al igual que para otros datos de la actividad, éstos pueden quedar obsoletos muy rápidamente. Los países son los mejor informados sobre la cantidad de aviones existentes en sus flotas de AWACS.

| CUADRO 8.8<br>FLOTAS NACIONALES DE AWACS |                   |       |         |                |              |                   |       |
|--|-------------------|-------|---------|----------------|--------------|-------------------|-------|
| País/<br>Organización                    | Estados<br>Unidos | Japón | Francia | Reino<br>Unido | Otro<br>OTAN | Arabia<br>Saudita | Total |
| Cantidad de<br>AWACS                     | 33                | 4     | 4       | 7              | 17           | 5                 | 70    |
| Fuente: Boeing (2005)                    |                   |       |         |                |              |                   |       |

### Método de Nivel 2 – método por equilibrio de masas del usuario

El método más exacto para estimar las emisiones de SF<sub>6</sub> procedentes de los AWACS es el seguimiento del consumo de SF<sub>6</sub> por sistema. Para ello, se pueden usar las ecuaciones siguientes que son similares a las de la variante del método de Nivel 3 al nivel de los servicios para los equipos eléctricos. Nótese que para los AWACS, es probable que las adquisiciones y los desembolsos de los contenedores de SF<sub>6</sub> sean considerablemente más importantes para el resultado que las adquisiciones y los retiros de los sistemas operativos.

| ECUACIÓN 8.13<br>EMISIONES PROCEDENTES DE LOS AWACS (EQUILIBRIO DE MASAS DEL USUARIO)  |  |
|--|--|
| Emisiones del usuario = Disminución de las existencias de SF <sub>6</sub> + Adquisiciones de SF <sub>6</sub> –<br>Desembolsos de SF <sub>6</sub> – Aumento neto de la carga en la flota de AWACS |  |

Donde:

*Disminución de las existencias de SF<sub>6</sub>* = SF<sub>6</sub> almacenado en los contenedores al principio del año  
– SF<sub>6</sub> almacenado en los contenedores al final del año

*Adquisiciones de SF<sub>6</sub>* = SF<sub>6</sub> comprado a los productores químicos o a los distribuidores a granel  
+ SF<sub>6</sub> comprado a los fabricantes o a los distribuidores de AWACS con (o dentro de) los aviones  
nuevos + SF<sub>6</sub> devuelto al sitio después de haber sido reciclado al exterior del sitio

*Desembolsos de SF<sub>6</sub>* = SF<sub>6</sub> contenido en los AWACS transferidos a otras entidades + SF<sub>6</sub> devuelto a los  
proveedores + SF<sub>6</sub> enviado al exterior del sitio para ser reciclado + SF<sub>6</sub> destruido

*Aumento neto de la carga en la flota de AWACS* = 13 kg. • (AWACS nuevos – AWACS retirados)

### EMISIONES DE SF<sub>6</sub> Y PFC PROCEDENTES DE OTRAS APLICACIONES MILITARES

Hay un amplio espectro de aplicaciones militares que utilizan los PFC o el SF<sub>6</sub>.<sup>5</sup> Se piensa que la electrónica militar es una aplicación importante y creciente de los fluidos de transferencia térmica de PFC, los cuales son estimados por su estabilidad y por sus propiedades dieléctricas. Se utilizan los fluidos en radares terrestres y aerotransportados (klistrones), aeroelectrónica (aviónica), sistemas de teledirección de misiles, contramedidas electrónicas (ECM, del inglés *Electronic Counter Measures*), sonares, vehículos anfibios de asfalto, otros aviones de reconocimiento y vigilancia aérea, láseres, iniciativa de defensa estratégica (SDI, del inglés *Strategic Defense Initiative*) y aviones furtivos. Los PFC pueden emplearse también para enfriar los motores eléctricos, en particular en las aplicaciones donde es apreciable la insonorización, p. ej., en barcos y submarinos. Se piensa que los PFC específicos que se usan en estas aplicaciones son similares a los que se han identificado en el Capítulo 6 como fluidos de transferencia térmica en la fabricación electrónica. Los procedimientos de enfriamiento por vaporización, por chorro de impacto y por ebullición estancada parecen ser los sistemas favoritos para la extracción de calor. En todas estas aplicaciones de enfriamiento, los PFC están confinados en un sistema cerrado y, al parecer, no se requieren recambios ni rellenados del PFC líquido. Por lo tanto, las mayores probabilidades de que ocurran emisiones se presentan en la fabricación, el mantenimiento y, en particular, durante la eliminación de los equipos.

El SF<sub>6</sub> se emplea en las cavidades conductoras de las antenas de los sistemas de radares terrestres y aerotransportados de alto rendimiento, para la transmisión de pulsos de energía de altas frecuencias a tensiones elevadas producidas por el klistrón. Otra aplicación del SF<sub>6</sub> es en calidad de oxidante del litio en los sistemas de

<sup>5</sup> David Harris y James Hildebrandt, "Spray Cooling Electrical and Electronic Equipment," *COTS Journal*, noviembre de 2003; C. Shepherd Burton, "Uses and Air Emissions of Liquid PFC Heat Transfer Fluids from the Electronics Sector," Informe borrador para Scott C. Bartos, U.S. Environmental Protection Agency.

propulsión de energía química almacenada (SCEPS, del inglés *Stored Chemical Energy Propulsion System*), p. ej., en los torpedos navales y en los señuelos infrarrojos (Koch, 2004). Aparentemente, en estas aplicaciones el SF<sub>6</sub> se encuentra, por lo general, relativamente confinado, al igual que los fluidos de PFC de transferencia térmica enumerados más arriba, pero los procedimientos de mantenimiento y de ensayos pueden conducir a la producción de emisiones. También se ha señalado el uso del SF<sub>6</sub> para silenciar las hélices de los torpedos (NIST, 1997).

Además, el SF<sub>6</sub> puede emitirse como producto derivado del procesamiento del material nuclear para la producción del combustible de las ojivas nucleares. Se sabe que el SF<sub>6</sub> se emite a partir de la neutralización del exceso de flúor durante la producción de combustible nuclear para las aplicaciones civiles (AREVA, 2005).

Aunque se cree que las cantidades totales de SF<sub>6</sub> y de PFC consumidas y emitidas en este sector son significativas, hasta hoy no se dispone de datos públicos sobre estas cantidades. En consecuencia, los compiladores del inventario deben tratar de obtener información adicional de las autoridades pertinentes y, si fuera posible, de los proveedores. Como se ha señalado antes, las mayores probabilidades de generación de emisiones provenientes de muchas de estas aplicaciones parecen ocurrir en la fabricación, el mantenimiento y la eliminación de los equipos. Por lo tanto, los compiladores del inventario pueden acopiar información sobre los índices de emisión de la fabricación, el mantenimiento y la eliminación de los equipos, junto con las cantidades de equipos fabricados, en uso y eliminados, y estimar las emisiones empleando los métodos de Nivel 2 o Nivel 3 para los equipos eléctricos. Para las aplicaciones con perfiles de emisión diferentes (p. ej., con emisiones rápidas), se puede utilizar la ecuación apropiada de la Sección 8.2.

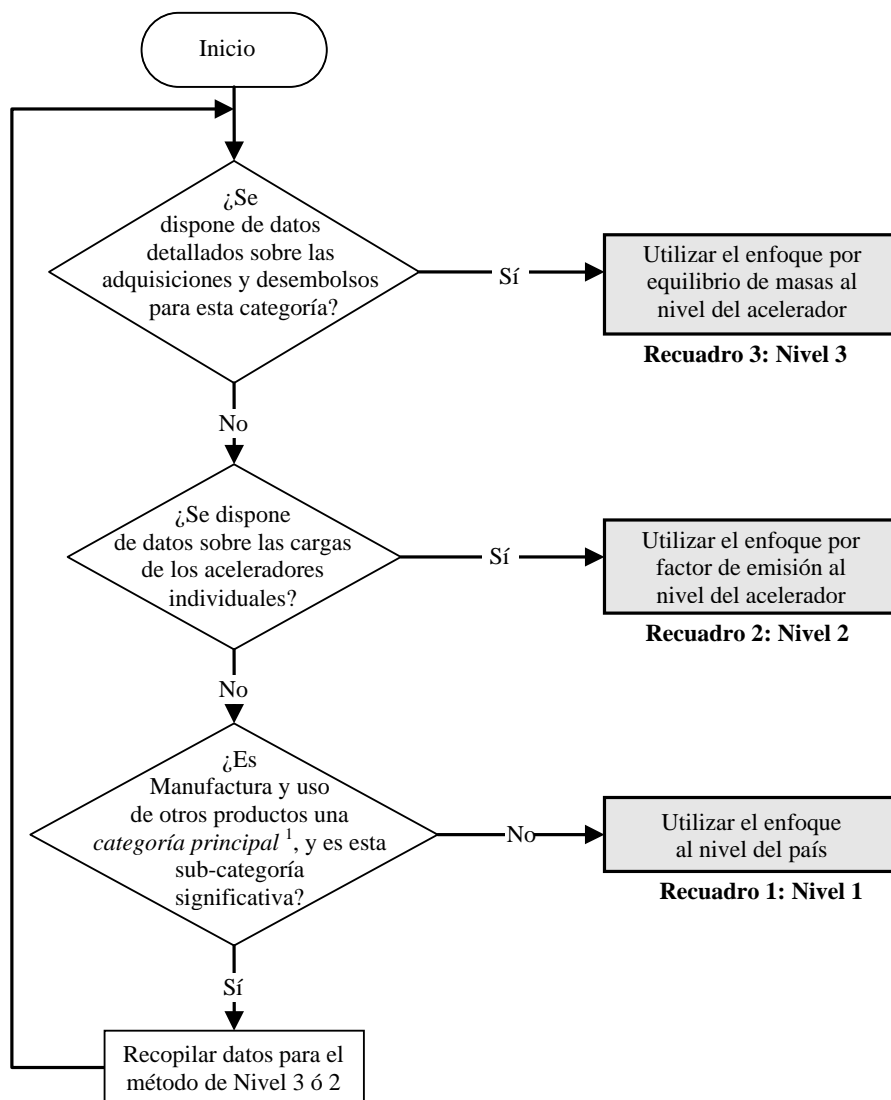
### **EMISIONES DE SF<sub>6</sub> PROVENIENTES DE LOS ACELERADORES DE PARTÍCULAS DE LAS UNIVERSIDADES Y DE LA INVESTIGACIÓN**

El SF<sub>6</sub> se emplea como gas aislante en los aceleradores de partículas operados por las universidades y los organismos de investigación. Típicamente, los equipos de alta tensión están confinados y son operados dentro de un recipiente llenado con SF<sub>6</sub> a una presión superior a la presión atmosférica. Las cargas varían entre cinco kilogramos y decenas de miles de kilogramos, con cargas típicas entre 500 y 3 000 Kg. Cuando los equipos requieren mantenimiento, se transfiere el SF<sub>6</sub> hacia cisternas de almacenamiento. Las pérdidas de SF<sub>6</sub> se producen principalmente durante la recuperación y transferencia del gas, cuando se accionan las válvulas de alivio de presión, y a través de fugas lentas.

Basándose en dos estudios recientes, se ha establecido que las pérdidas anuales de SF<sub>6</sub> varían entre un 5 y un 7 por ciento de la capacidad del recipiente por año y que, en general, dependen de la frecuencia de apertura del recipiente, además de la eficiencia de los equipos de recuperación y de transferencia. La capacidad mundial de los bancos se estima aproximadamente en unas 500 toneladas, con 35 toneladas de emisiones de SF<sub>6</sub> anuales.

Suiza ha desarrollado un programa voluntario para reducir las emisiones de SF<sub>6</sub> provenientes de los aceleradores de partículas. Existen sugerencias y técnicas para reducir las emisiones de SF<sub>6</sub> de estas fuentes.

**Figura 8.3**      **Árbol de decisión para el SF<sub>6</sub> procedente de los aceleradores de la investigación**



Nota :

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

### Método de Nivel 1 – método a nivel del país

En los casos en los que no se dispone de datos sobre la carga de los aceleradores de los usuarios individuales, un método extremadamente grosero consiste en determinar la cantidad total de aceleradores universitarios y de investigación existentes en el país y utilizar varios factores para determinar el índice de emisión anual al nivel del país, como se consigna en la Ecuación 8.14. Para este método de Nivel 1, el único dato que debe recopilarse es el de la cantidad total de aceleradores de partículas universitarios y de investigación existentes en el país en cuestión.

**ECUACIÓN 8.14**

**EMISIONES PROCEDENTES DE LOS ACELERADORES UNIVERSITARIOS Y DE INVESTIGACIÓN (AL NIVEL DEL PAÍS)**

Emisiones = (Cantidad de aceleradores de partículas universitarios y de investigación en el país) • (Factor de uso del SF<sub>6</sub>) • (Factor de carga del SF<sub>6</sub>, kg.) • (Factor de emisión de SF<sub>6</sub> para los aceleradores de partícula universitarios y de investigación)

Donde:

*Cantidad de aceleradores de partículas universitarios y de investigación en el país = la cantidad total de aceleradores de partículas universitarios y de investigación del país.* Este método grosero no requiere que los países determinen la cantidad de aceleradores que utilizan el SF<sub>6</sub>. Para determinar si

un país posee un acelerador de partículas, visite el sitio [http://www-elsa.physik.uni-bonn.de/Informationen/accelerator\\_list.html](http://www-elsa.physik.uni-bonn.de/Informationen/accelerator_list.html)

*Factor de uso del SF<sub>6</sub>* = 0,33; aproximadamente un tercio de los aceleradores de partículas universitarios y de investigación utilizan el SF<sub>6</sub> como aislante.

*Factor de carga del SF<sub>6</sub>* = 2400 kg de SF<sub>6</sub>; carga de SF<sub>6</sub> promedio en un acelerador de partículas universitario y de investigación.

*Factor de emisión de SF<sub>6</sub> para los aceleradores de partículas universitarios y de investigación* = 0,07 ; índice de emisión promedio anual de un acelerador de partículas universitario y de investigación, expresado como fracción de la carga total.

### Método de Nivel 2 – enfoque por factor de emisión al nivel del acelerador

Si se dispone de datos sobre la cantidad de SF<sub>6</sub> confinada dentro de cada acelerador universitario y de investigación, la carga total de SF<sub>6</sub> contenida en todos los aceleradores del país puede multiplicarse por un factor de emisión del 7 por ciento. El índice total de emisión de SF<sub>6</sub> del país para los aceleradores universitarios y de investigación puede calcularse con la Ecuación 8.15.

**ECUACIÓN 8.15**  
**EMISIONES PROCEDENTES DE LOS ACELERADORES UNIVERSITARIOS Y DE INVESTIGACIÓN**  
**(FACTOR DE EMISIÓN AL NIVEL DE LOS ACELERADORES)**

Emisiones totales = Factor de emisión de SF<sub>6</sub> de los aceleradores universitarios y de investigación  
 •  $\sum$  Cargas de los aceleradores individuales

Donde:

*Factor de emisión de SF<sub>6</sub> para los aceleradores de partículas universitarios y de investigación* = 0,07; índice de emisión promedio anual de un acelerador de partículas universitario y de investigación, expresado como fracción de la carga total.

*Cargas de los aceleradores individuales* = SF<sub>6</sub> contenido en cada acelerador universitario y de investigación.

### Método de Nivel 3 – método por equilibrio de masas al nivel del acelerador

Las emisiones de SF<sub>6</sub> provenientes de las instalaciones de investigación que operan aceleradores de partículas pueden determinarse con un mayor grado de exactitud al nivel del usuario, acelerador por acelerador. Los cálculos de las emisiones se estiman mediante un seguimiento de la carga del acelerador, así como de su consumo de SF<sub>6</sub> y su eliminación. Como se detalla en la Ecuación 8.16, las emisiones totales son iguales a la suma de las emisiones de los usuarios individuales. Nótese que, según este método, como el índice de emisión de SF<sub>6</sub> global de los aceleradores de partículas es pequeña comparada con otros usos del SF<sub>6</sub>, la pérdida asociada de SF<sub>6</sub> en la fabricación se considera insignificante y no se incluye en el cálculo.

**ECUACIÓN 8.16**  
**EMISIONES TOTALES PROCEDENTES DE LOS ACELERADORES DE INVESTIGACIÓN**

$Emisiones\ totales = \sum Emisiones\ de\ cada\ acelerador\ individual$

Las emisiones de cada acelerador de partículas pueden calcularse de la manera siguiente:

**ECUACIÓN 8.17**  
**EMISIONES PROCEDENTES DE LOS ACELERADORES DE INVESTIGACIÓN**  
**(EQUILIBRIO DE MASAS AL NIVEL DE LOS ACELERADORES)**

Emisiones del acelerador = Disminución de las existencias de SF<sub>6</sub> + Adquisiciones de SF<sub>6</sub> –  
 Desembolsos de SF<sub>6</sub> – Aumento neto de la carga del acelerador

Donde:

*Disminución de las existencias de SF<sub>6</sub>* = SF<sub>6</sub> almacenado en los contenedores al principio del año  
 – SF<sub>6</sub> almacenado en los contenedores al final del año

*Adquisiciones de SF<sub>6</sub>* = SF<sub>6</sub> comprado a los productores químicos o a los distribuidores a granel  
 + SF<sub>6</sub> comprado a los fabricantes o a los distribuidores de aceleradores con (o dentro de) los componentes nuevos del acelerador + SF<sub>6</sub> devuelto al sitio después de haber sido reciclado al exterior

*Desembolsos de SF<sub>6</sub>* = SF<sub>6</sub> contenido en los componentes transferidos a otras entidades + SF<sub>6</sub> devuelto a los proveedores + SF<sub>6</sub> enviado al exterior del sitio para ser reciclado + SF<sub>6</sub> destruido

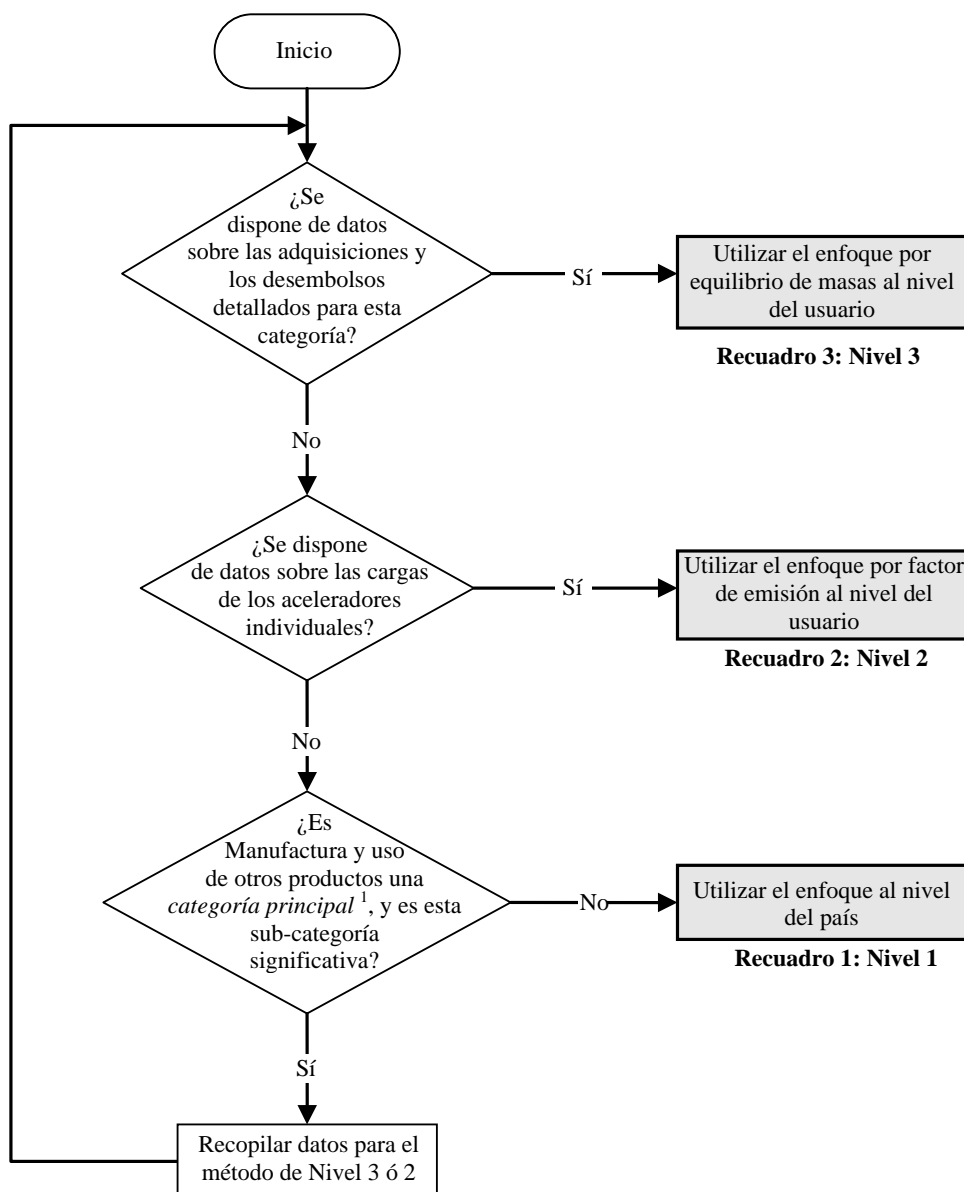
$Aumento\ neto\ de\ la\ carga\ del\ acelerador = Carga\ de\ SF_6\ de\ los\ componentes\ nuevos - Carga\ de\ SF_6\ de\ los\ componentes\ que\ se\ retiran.$

### EMISIONES DE SF<sub>6</sub> PROVENIENTES DE LOS ACELERADORES DE PARTÍCULAS INDUSTRIALES Y DE USO MÉDICO

Se utiliza el SF<sub>6</sub> como gas aislante en dos tipos de aceleradores industriales de partículas (de baja y de alta tensión) y también en aceleradores de partículas de uso médico (terapia contra el cáncer), como es el caso de los aceleradores universitarios y de investigación. Sin embargo, como se analiza más abajo, los factores de emisión y de carga de los aceleradores de partículas industriales y médicos son diferentes a los de los aceleradores universitarios y de investigación.

La capacidad mundial de los bancos de los aceleradores industriales se estima aproximadamente en unas 500 toneladas, con 35 toneladas de emisiones de SF<sub>6</sub> anuales. La capacidad mundial de los bancos de los aceleradores de uso médico (radioterapia) se estima en forma gruesa en menos de 5 toneladas, con menos de 5 toneladas de emisiones de SF<sub>6</sub> anuales. Schwarz (2005).

**Figura 8.4**      **Árbol de decisión para los aceleradores de partículas industriales y de uso médico**



Nota :

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

### Método de Nivel 1 – método al nivel del país

En los casos en los que no se dispone de datos sobre la carga de los aceleradores de los usuarios individuales, un método extremadamente grosero consiste en determinar la cantidad total de aceleradores de partículas por descripción del proceso existentes en el país y utilizar factores para determinar el índice de emisión anual al nivel del país, como se consigna en la Ecuación 8.18. Para este método de Nivel 1, el único dato que debe recopilarse es la cantidad total de aceleradores de partículas que contienen SF<sub>6</sub> por descripción del proceso en el país en cuestión.

**ECUACIÓN 8.18**  
**EMISIONES PROCEDENTES DE LOS ACELERADORES INDUSTRIALES Y/O DE USO MÉDICO**  
**(AL NIVEL DEL PAÍS)**

Emisiones = (Cantidad de aceleradores de partículas que usan SF<sub>6</sub> por descripción del proceso en el país) • (Factor de carga de SF<sub>6</sub>, kg.) • (Factor de emisión de SF<sub>6</sub> aplicable para el acelerador de partículas)

Donde:

*Cantidad de aceleradores de partículas que usan SF<sub>6</sub> por descripción de proceso en el país = número total de aceleradores de partículas por tipo (industrial de alta tensión, industrial de baja tensión y de uso en radioterapia) que emplean el SF<sub>6</sub> en el país, 1, 2, etc. (cuéntense sólo los aceleradores que emplean el SF<sub>6</sub>; difiere de los cálculos de Nivel 1 para los aceleradores de partículas universitarios y de investigación).*

*Factor de carga de SF<sub>6</sub> = promedio de la carga de SF<sub>6</sub> en un acelerador de partículas por descripción del proceso, como se señala más abajo.*

*Factor de emisión de SF<sub>6</sub> para el acelerador de partículas = promedio del índice anual de emisión de SF<sub>6</sub> de los aceleradores de partículas, expresado como fracción de la carga total por descripción del proceso.*

| <b>CUADRO 8.9</b><br><b>CARGA PROMEDIO DE SF<sub>6</sub> EN UN ACELERADOR DE PARTÍCULAS POR DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>                                  |   |
|--|---|
| <b>Descripción del proceso</b>   | <b>Factor de carga de SF<sub>6</sub>, kg.</b> |
| Aceleradores industriales de partículas – alta tensión (0,3-23 MV)   | 1300  |
| Aceleradores industriales de partículas – baja tensión (<0,3 MV)   | 115   |
| Uso médico (radioterapia)  | 0,5 <sup>a</sup>                              |
| <sup>a</sup> Éste es el promedio de los valores que fluctúan entre 0,05 kg. y más de 0,8 kg., según el modelo y el fabricante.<br>Fuente: Schwarz (2005) |   |

### Método de Nivel 2 – enfoque por factor de emisión al nivel del usuario

Si se dispone de datos sobre las cantidades de SF<sub>6</sub> contenidas dentro de cada acelerador industrial y de uso médico, utilícese el método de Nivel 2 para las instalaciones universitarias y de investigación; sin embargo, hay que multiplicar el factor de emisión de cada descripción del proceso proporcionado a continuación, por la carga total de SF<sub>6</sub> específica del país para esa descripción del proceso.

| <b>CUADRO 8.10</b><br><b>FACTOR DE EMISIÓN PARA CADA DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b><br><b>(EMISIONES DE SF<sub>6</sub> PROCEDENTES DE LOS ACELERADORES DE PARTÍCULAS INDUSTRIALES Y DE USO MÉDICO)</b> |  |
|---|--|
| <b>Descripción del proceso</b>  | <b>Factor de emisión, kg./kg. de carga de SF<sub>6</sub></b> |
| Aceleradores industriales de partículas – alta tensión (0,3-23 MV)  | 0,07   |
| Aceleradores industriales de partículas – baja tensión (<0,3 MV)  | 0,013  |
| Uso médico (radioterapia)   | 2,0 <sup>a</sup>   |
| <sup>a</sup> Éste es el promedio de los valores que fluctúan entre 1 kg. y 10 kg. por kg. de carga, según el modelo, el fabricante y los intervalos del mantenimiento.<br>Fuente: Schwarz (2005)    |  |

### Método de Nivel 3 – método por equilibrio de masas al nivel del usuario

Para calcular las emisiones de SF<sub>6</sub> provenientes de los aceleradores de partículas industriales y de uso médico, utilícese el mismo método de Nivel 3 que para las instalaciones universitarias y de investigación. Es probable que las organizaciones de servicios al cliente para los fabricantes y distribuidores de los equipos posean información sobre las existencias, importaciones y exportaciones de equipos y sobre las cantidades de SF<sub>6</sub> utilizadas para llenar y recargar los equipos.

### EMISIONES PROVENIENTES DE OTRAS APLICACIONES DEL SF<sub>6</sub> Y LOS PFC

Es una *buena práctica* contactar a todos los productores y/o distribuidores de gas para identificar a los usuarios del SF<sub>6</sub> y PFC, e investigar el consumo de gas en otras categorías de fuentes diferentes de las mencionadas más arriba. La diferencia fundamental entre las aplicaciones que se analizan más abajo es el retardo típico entre la compra del SF<sub>6</sub> o los PFC y la liberación de la sustancia química. En algunos casos (p. ej., el del SF<sub>6</sub> utilizado en los vidrios insonorizados y el de los PFC utilizados como fluidos de transferencia térmica), la sustancia química está bastante bien confinada durante la vida útil del equipo o producto y la mayoría de las emisiones está asociada con la fabricación y la eliminación del producto. En estos casos, el retardo entre la compra de la sustancia química y su emisión final depende de la vida útil del producto, que se extiende entre los tres años para los neumáticos y el calzado deportivo hasta los 25 años para los vidrios insonorizados. En otros casos (p. ej., el uso del SF<sub>6</sub> y los PFC como trazadores en las aplicaciones médicas), se emite la totalidad de la sustancia química dentro del año de su compra. Si, como resultado de un sondeo inicial, se distinguen aplicaciones con emisiones retardadas que parecen significativas, es una *buena práctica* utilizar un cálculo de las emisiones específico de la categoría de fuente que tome en cuenta el retardo de las emisiones.

#### Usos adiabáticos

Los usos adiabáticos del SF<sub>6</sub> y de algunos PFC explotan la baja permeabilidad de estos gases para atravesar el caucho. El SF<sub>6</sub> ha sido históricamente el gas dominante en este tipo de aplicación; sin embargo, los PFC con pesos moleculares similares (como el C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>) también se han usado recientemente. Entre las aplicaciones con periodos de retardo de 3 años se incluyen: neumáticos, calzado deportivo y pelotas de tenis (Schwarz *et al.*, 1996). La fórmula siguiente se puede utilizar para las aplicaciones que presentan emisiones con retardos de tres años.

#### ECUACIÓN 8.19

##### APLICACIONES DE LA PROPIEDAD ADIABÁTICA

Emisiones en el año  $t$  = ventas en el año  $(t - 3)$

#### Vidrios insonorizados

*Ventanas insonorizadas de doble cristal*: alrededor de un tercio de la cantidad total del SF<sub>6</sub> comprado se libera durante el ensamblado (es decir, durante el llenado de la ventana de doble cristal). Se supone un índice de fugas anual de un 1 por ciento (incluida la ruptura de los cristales) para el gas confinado dentro de la ventana (capacidad). En consecuencia, al cabo de 25 años de vida útil permanece alrededor de un 75 por ciento del contenido inicial. La aplicación del SF<sub>6</sub> en las ventanas comenzó en 1975, de modo que la eliminación recién está comenzando. Las emisiones de esta subcategoría de fuente deben calcularse empleando las Ecuaciones 8.20 a 8.22:

#### ECUACIÓN 8.20

##### VENTANAS DE DOBLE CRISTAL: ENSAMBLADO

Emisiones del ensamblado en el año  $t = 0,33 \bullet$  SF<sub>6</sub> comprado para llenar las ventanas ensambladas en el año  $t$

#### ECUACIÓN 8.21

##### VENTANAS DE DOBLE CRISTAL: USO

Emisiones por fugas en el año  $t = 0,01 \bullet$  Capacidad de las ventanas existentes en el año  $t$



**ECUACIÓN 8.22****VENTANAS DE DOBLE CRISTAL: ELIMINACIÓN**

Emisiones de la eliminación en el año  $t$  = Cantidad restante en la ventana al fin de la vida útil en el año  $t \cdot (1 - \text{Factor de recuperación})$

A menos que se disponga de datos específicos del país, en la Ecuación 8.22 se supone un factor de recuperación por defecto de valor cero. Si no se dispone de información específica sobre estas subcategorías de fuente, es una *buena práctica* tratarlas como emisiones rápidas.

### **PFC utilizados como fluidos de transferencia térmica en aplicaciones comerciales y del gran consumo**

Se emplean los PFC como fluidos de transferencia térmica en varias aplicaciones electrónicas de alta densidad de potencia, tanto comerciales como de gran consumo. Las aplicaciones comerciales incluyen los sistemas de enfriamiento de supercomputadoras, telecomunicaciones y radares de aeropuertos, así como las unidades motoras (rectificadores) de los trenes de alta velocidad (Burton, 2006). Estas aplicaciones consumen volúmenes mucho menores de PFC líquidos que la fabricación electrónica, pero se piensa que pueden ser significativas en algunas aplicaciones «nicho». Las aplicaciones de gran consumo incluyen los equipos de enfriamiento de las computadoras de oficina que operan a tensiones elevadas para aumentar la velocidad de procesamiento. Se piensa que los PFC específicos que se utilizan en estas aplicaciones son similares a los identificados en el Capítulo 6, en los fluidos de transferencia térmica de la fabricación electrónica. En todas estas aplicaciones, se emplean los PFC líquidos en módulos cerrados, lo cual indica que la mayor parte de las emisiones se produce durante la fabricación, el mantenimiento y la eliminación del producto o equipo. Por lo tanto, si los compiladores del inventario pueden obtener información sobre los índices de emisión durante la fabricación, el mantenimiento y la eliminación de los equipos, junto con las cantidades de equipos fabricados, utilizados y eliminados cada año, para estimar las emisiones pueden emplear el método de Nivel 2 o de Nivel 3 para los equipos eléctricos. Para las aplicaciones con perfiles de emisión diferentes (p. ej., con emisiones rápidas), se puede utilizar la ecuación apropiada de la Sección 8.2.

### **PFC utilizados en cosméticos y en aplicaciones médicas**

En las aplicaciones cosméticas y médicas se emplean PFC con pesos moleculares relativamente grandes (p. ej.,  $C_{10}F_{18}$ ) con el fin de explotar sus capacidades para transportar el oxígeno en los tejidos vivos (May, 2006). Las aplicaciones cosméticas incluyen las cremas contra las arrugas y se estima que consumen cantidades bastante pequeñas. Las aplicaciones médicas actuales y potenciales incluyen el almacenamiento de tejido pancreático para trasplantes (que emplean el «método de las dos capas»), la cirugía ocular (reparación de desprendimientos de la retina), la neumonectomía (terapia y diagnóstico pulmonar), el uso como agente de contraste en los exámenes de ultrasonido e IRM, en la expansión del plasma sanguíneo, en la cicatrización de heridas y en el tratamiento de enfermedades del oído medio. Todas las aplicaciones médicas, excepto las dos primeras, involucran sólo pequeñas cantidades y/o están en etapa de investigación. El almacenamiento de tejido pancreático es una aplicación reducida, pero en crecimiento. Las emisiones provenientes de los usos médicos son inciertas pero se estima que son pequeñas.

Para todas estas aplicaciones se sospecha que los PFC se emiten hacia la atmósfera dentro del año de la compra. Por lo tanto, las emisiones de estas fuentes pueden estimarse utilizando la Ecuación 8.23 para las emisiones rápidas.

### **Cualquier otro uso del SF<sub>6</sub> y de los PFC**

Entre las demás aplicaciones de los SF<sub>6</sub> y los PFC que no han sido abordadas explícitamente más arriba se incluyen el uso como trazadores (en la detección de fugas, el seguimiento de masas de aire de interior y exterior y la recuperación del petróleo<sup>6</sup>) y el uso del SF<sub>6</sub> en la producción de cables ópticos (para dopar con flúor las fibras de vidrio<sup>7</sup>). A menudo, los gases o líquidos se emiten dentro del año de la compra. En este caso, al calcular las emisiones de SF<sub>6</sub> y PFC procedentes de estas aplicaciones con emisiones «rápidas», es una *buena práctica* usar la fórmula siguiente:

<sup>6</sup> D. Vlachogiannis *et al.* (2005). En este artículo se señala que cierta fracción de los PFC y del SF<sub>6</sub> inyectados se destruye durante la quema de los combustibles, pero que la magnitud de esta fracción no ha sido esclarecida (en comparación con la fracción de la sustancia química inyectada que escapa antes de la combustión).

<sup>7</sup> Para mayor información sobre esta aplicación, véase Schwarz (2005).

**ECUACIÓN 8.23**  
**EMISIONES RÁPIDAS**

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

Esta ecuación es similar a la ecuación para las emisiones rápidas de las aplicaciones de los sustitutos de la SAO (p. ej., aerosoles y solventes) abordadas en el Capítulo 7 de este volumen. La ecuación cubre más de un año pues se supone que tanto las ventas como las emisiones son continuas a lo largo del año; esto es, las sustancias químicas vendidas a mediados del año  $t-1$  no son emitidas por completo hasta mediados del año  $t$ .

### 8.3.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Para las categorías de fuente «Otros» del SF<sub>6</sub> y los PFC que contribuyen sustancialmente a las emisiones de SF<sub>6</sub> y PFC, se alienta a los países a desarrollar factores de emisión específicos del país, basados en sondeos ocasionales de los subconjuntos representativos de las fuentes. Es una *buena práctica* documentar claramente tales factores de emisión. Los factores de emisión por defecto se proporcionan más arriba para los AWACS, los aceleradores, las aplicaciones con emisiones rápidas y las aplicaciones adiabáticas, incluidas las ventanas.

### 8.3.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los datos de la actividad para estas subcategorías de fuentes deben ser coherentes con los datos utilizados para calcular las emisiones de SF<sub>6</sub> procedentes de otras categorías de fuente (p. ej., los equipos eléctricos), para garantizar que la estimación sea completa y que no haya cálculos dobles. Es probable que las organizaciones de servicios al cliente para los fabricantes y distribuidores de los aceleradores lineales médicos posean información sobre las existencias de equipos, las importaciones y exportaciones y las cantidades de SF<sub>6</sub> utilizadas para llenar y recargar los equipos. La orientación relacionada con las fuentes posibles de datos de la actividad para otras fuentes se proporcionan bajo el método correspondiente a cada categoría de fuente.

### 8.3.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Los datos sobre importaciones, exportaciones y consumo obtenidos de los productores y distribuidores nacionales de SF<sub>6</sub> y PFC, por aplicación, son suficientes, siempre y cuando: (i) todos los productores y distribuidores de SF<sub>6</sub> y PFC hayan sido identificados; (ii) los consumidores nacionales compren SF<sub>6</sub> y PFC sólo a proveedores nacionales; y (iii) las importaciones y exportaciones contenidas en los productos (p. ej., los artículos deportivos) sean insignificantes. Es una *buena práctica* verificar regularmente si aparecen distribuidores adicionales para garantizar que los usuarios finales no importen el gas directamente (a granel) y que los productos que contienen SF<sub>6</sub> y PFC identificados no sean importados en cantidades sustanciales.

Como alternativa, si no se dispone de datos «de arriba hacia abajo» sobre el consumo de sustancias químicas, los países pueden utilizar la información sobre la cantidad de aceleradores, de AWACS, de ventanas, etc., en uso en el país y aplicar los factores de emisión que se han proporcionado con los métodos correspondientes a cada categoría de fuente.

### 8.3.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Para efectuar las estimaciones de los años de base se pueden necesitar datos de algunos años anteriores; un año para las emisiones rápidas y más años para las aplicaciones con emisiones retardadas. Es una *buena práctica* calcular las emisiones empleando el mismo método para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método más riguroso aplicable a todos los años de la serie temporal, la *buena práctica* consiste en recalcularse las carencias según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

## 8.3.3 Evaluación de incertidumbre

Si el sondeo de las ventas nacionales por aplicación realizadas por los productores y distribuidores nacionales de gas es completo, la exactitud de los datos sobre el consumo anual aparente será elevada. La incertidumbre en las estimaciones de las emisiones será igualmente pequeñas si todos los usos corresponden a emisiones rápidas. En el caso de las aplicaciones con emisiones retardadas, las incertidumbres son:

- Tiempos de retardo por defecto para las aplicaciones de la propiedad adiabática:  $3 \pm 1$  año;

- Valores por defecto para las ventanas insonorizadas:  $50 \pm 10\%$  para las emisiones del llenado y  $1 \pm 0,5\%$  para las emisiones debidas a las fugas y/o la ruptura.

Si no se dispone de datos sobre el consumo de gas, las incertidumbres asociadas a las cantidades y a los usos de los aceleradores, los AWACS, etc., resultan importantes.

- Para los aceleradores, la carga total de SF<sub>6</sub> y el índice de fugas determinan las emisiones y las incertidumbres asociadas
- Para el uso del SF<sub>6</sub> en los AWACS, la cantidad de despegues por avión tiene un impacto significativo en las emisiones y en la incertidumbre.

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

#### 8.3.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD Y CONTROL DE CALIDAD

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6, así como una revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, así como procedimientos de garantía de calidad, en particular si al determinar las emisiones de esta categoría de fuente se utilizan métodos de nivel superior. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Más abajo se bosquejan algunos procedimientos adicionales específicos para otras fuentes de SF<sub>6</sub>:

#### **Comparación de las estimaciones de emisiones obtenidas mediante los diferentes enfoques**

Los compiladores del inventario deben comparar el total nacional de emisiones potenciales de SF<sub>6</sub> y PFC (menos la cantidad atribuida a las categorías de fuentes analizadas en los capítulos 3.10, 4, 6 y 8.2) con las emisiones estimadas de SF<sub>6</sub> y PFC procedentes de los otros usos. Estas emisiones nacionales potenciales ajustadas pueden utilizarse como un límite superior para las emisiones.

#### **Verificación de los datos de la actividad**

Los compiladores del inventario deben comparar los datos de la actividad presentados por los diferentes productores y distribuidores y ajustarlos según los tamaños o las capacidades relativas de las compañías, para identificar los valores erráticos. Todos los valores erráticos deben someterse a una investigación para determinar si las diferencias pueden explicarse o si hay errores en las actividades declaradas.

#### **Comparación de los índices de emisión con los de otros países**

Los compiladores del inventario deben comparar las emisiones procedentes de los otros usos finales de SF<sub>6</sub> y PFC incluidas en el inventario nacional con la información presentada por otros países similares. Para cada fuente, las emisiones *per cápita* o por unidad de PIB deben compararse con los correspondientes índices de emisión de otros países. Si las cifras nacionales parecen ser relativamente muy altas o muy bajas, se debe procurar una justificación.

#### 8.3.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

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

Para garantizar la transparencia es una *buena práctica* declarar tanto las emisiones reales como las potenciales procedentes de la categoría de fuente «otros usos» por separado de las otras emisiones de SF<sub>6</sub> y PFC. Además, el aporte de información sobre las aplicaciones específicas que se incluyen en esta categoría de fuente resulta útil para comparar (las estimaciones de) las prácticas nacionales con las de otros países, en el ámbito regional o a escala mundial. Más aún, deben documentarse los métodos aplicados y las referencias. Para las subcategorías de fuente con emisiones retardadas, se deben declarar las emisiones anuales, los tiempos de retardo y los factores de emisión por tipo de subcategoría.

## 8.4 N<sub>2</sub>O PROCEDENTE DEL USO DE PRODUCTOS

### 8.4.1 Introducción

Las emisiones por evaporación de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) pueden producirse a partir de varios tipos de uso de los productos, incluidos:

- Las aplicaciones médicas (uso de anestésicos, analgésicos y usos veterinarios);
- Los usos como propulsor en los productos de aerosol, principalmente en la industria alimenticia (crema batida en latas a presión, etc.);
- Los agentes oxidantes y decapantes utilizados en la fabricación de semiconductores;
- Los agentes oxidantes utilizados, junto al acetileno, en la espectrometría de absorción atómica;
- La producción de azida sódica, que se usa para inflar las bolsas de aire de los automóviles (*airbag*);
- El uso como oxidante de combustible en las carreras automovilísticas; y
- Los agentes oxidantes en los sopletes empleados en joyería y otros usos.

En general, es probable que las aplicaciones médicas y el uso como propulsor en los productos de aerosol sean las fuentes más importantes de esta lista. Es una *buena práctica* estimar y declarar las emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de estas fuentes. Si hay datos disponibles, se alienta a los compiladores del inventario a estimar y declarar las emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de todas las demás fuentes también.

#### APLICACIONES MÉDICAS

##### Uso del N<sub>2</sub>O como anestésico

El N<sub>2</sub>O para usos anestésicos se suministra en cilindros de acero que contienen por lo menos un 98 por ciento de N<sub>2</sub>O. Se usa el N<sub>2</sub>O en anestias por dos razones: a) como anestésico y analgésico y b) como gas portador de anestésicos de hidrocarburos fluorados volátiles tales como isoflurano, sevoflurano y desflurano. El efecto anestésico del N<sub>2</sub>O se adiciona al de los agentes de hidrocarburos fluorados.

No todos los anestésicos requieren el uso del N<sub>2</sub>O y su uso está contraindicado en pocas situaciones médicas. El gas de transporte durante la anestesia puede ser, ya sea el N<sub>2</sub>O y el oxígeno, o una mezcla de aire y oxígeno, en cuyo caso se evita el N<sub>2</sub>O.

Los agentes anestésicos inhalados se administran cada vez más a través de sistemas de respiración asistida que recirculan el aliento exhalado por el paciente a través de un recipiente con dióxido de carbono absorbente antes de dirigir los gases de nuevo hacia el paciente. Utilizando este método, el flujo del gas de transporte puede reducirse considerablemente después de los primeros minutos de la anestesia, cuando la captación del paciente es alta. Esta técnica se conoce como anestesia de flujo bajo. La anestesia de flujo bajo tiene la ventaja de reducir las emisiones así como el costo. Algunos anestésicos pueden evitar por completo, tanto el N<sub>2</sub>O como los agentes de hidrocarburos fluorados, al emplear una técnica en la que una droga anestésica se instila continuamente dentro de una vena durante todo el procedimiento quirúrgico. Esta técnica se conoce como anestesia intravenosa total.

##### Uso del N<sub>2</sub>O como analgésico

El N<sub>2</sub>O inhalado se utiliza para aliviar el dolor en ciertas situaciones. Por ejemplo, en el Reino Unido se suministra en cilindros de acero que contienen 50 por ciento de N<sub>2</sub>O premezclado con 50 por ciento de oxígeno, como óxido nitroso premezclado y mezclas de oxígeno. El óxido nitroso premezclado y las mezclas de oxígeno se emplean para procurar alivio a los dolores del parto y durante los procedimientos dolorosos de corta duración, p. ej., los cambios de ropa a los pacientes quemados. El óxido nitroso premezclado y las mezclas de oxígeno no se usan en los países de climas muy fríos, pues la mezcla puede separarse si los cilindros se almacenan a temperaturas inferiores a -6 grados centígrados, con el riesgo consiguiente de administrar a los pacientes óxido nitroso puro sin oxígeno.

##### Uso veterinario del N<sub>2</sub>O

El N<sub>2</sub>O se utiliza también durante la anestesia de animales. Los métodos de administración son similares a los que se utilizan en humanos.

## USOS COMO PROPULSOR EN LOS PRODUCTOS DE AEROSOL, PRINCIPALMENTE EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

También se utiliza el N<sub>2</sub>O como propulsor en los productos de aerosol, principalmente en la industria alimenticia. El uso típico es para la preparación de crema batida, donde se usan cartuchos llenos con N<sub>2</sub>O para convertir la crema en espuma.

### 8.4.2 Cuestiones metodológicas

#### 8.4.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Es una *buena práctica* estimar las emisiones de N<sub>2</sub>O a partir de datos sobre las cantidades de N<sub>2</sub>O suministrado que se obtienen de los fabricantes y distribuidores de productos de N<sub>2</sub>O, según la Ecuación 8.24, más abajo. Habrá un tiempo de retardo entre la fabricación, la entrega y el uso, pero es probable que sea pequeño en el caso de las aplicaciones médicas, pues los hospitales reciben normalmente entregas frecuentes para evitar el mantenimiento de grandes almacenes. Por lo tanto, es razonable suponer que los productos de N<sub>2</sub>O suministrados serán usados dentro del plazo de un año. En el caso del uso como propulsor en productos de aerosol no existen datos fiables que prueben la existencia de un retardo significativo entre la fabricación, la entrega y el uso. Siendo así, se considera práctico suponer que los suministros de productos de N<sub>2</sub>O serán usados en el año. La ecuación 8.24 cubre más de un año pues se supone que tanto el suministro como el uso son continuos a lo largo del año; esto es, el N<sub>2</sub>O suministrado a mitad del año t-1 no se usa ni se emite en su totalidad hasta mediados del año t.

No se han podido definir niveles diferentes para esta categoría de fuente, pues no existe otro método fiable de estimación. Por ejemplo, en el caso de las aplicaciones médicas, podrían considerarse las estimaciones calculadas a partir de la cantidad de anestésicos administrados, del número de camas quirúrgicas o de las horas de anestesia, pero es probable que estos métodos resulten inexactos. (Véase la Sección 8.4.2.3, Elección de los datos de la actividad.)

**ECUACIÓN 8.24**  
**EMISIONES DE N<sub>2</sub>O PROCEDENTES DEL USO DE OTROS PRODUCTOS**

$$E_{N_2O}(t) = \sum_i \{ [0.5 \cdot A_i(t) + 0.5 \cdot A_i(t-1)] \cdot EF_i \}$$

Donde:

$E_{N_2O}(t)$  = emisiones de N<sub>2</sub>O en el año t, toneladas

$A_i(t)$  = cantidad total de N<sub>2</sub>O suministrada en el año t en la aplicación de tipo i, toneladas

$A_i(t-1)$  = cantidad total de N<sub>2</sub>O suministrada en el año t-1 en la aplicación de tipo i, toneladas

$EF_i$  = factor de emisión para la aplicación de tipo i, fracción

#### 8.4.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

##### APLICACIONES MÉDICAS

Se supone que el N<sub>2</sub>O administrado no se modifica químicamente en el cuerpo y que la totalidad es devuelta a la atmósfera. Es razonable suponer un factor de emisión de 1,0.

## USOS COMO PROPULSOR EN LOS PRODUCTOS DE AEROSOL, PRINCIPALMENTE EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

Para el N<sub>2</sub>O empleado como propulsor en los productos alimenticios bajo presión y en aerosoles, ninguna fracción del N<sub>2</sub>O reacciona durante el proceso y todo el N<sub>2</sub>O se emite hacia la atmósfera, lo cual resulta en un factor de emisión de 1,0 para esta fuente.

##### OTROS

Para otros tipos de uso de los productos, puede que no resulte apropiado suponer un factor de emisión de 1,0. En el caso de que los compiladores del inventario estimen y declaren emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de usos diferentes a los de las aplicaciones médicas y del uso como propulsor en los productos de aerosol, se los alienta a derivar factores de emisión razonables para esa fuente a partir de la bibliografía o de las mediciones.

### 8.4.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

#### APLICACIONES MÉDICAS

La cantidad total de N<sub>2</sub>O suministrado por tipo de aplicación debe obtenerse de los fabricantes y distribuidores de productos de N<sub>2</sub>O. Como alternativa, para las aplicaciones médicas, las cantidades de N<sub>2</sub>O utilizado pueden obtenerse de los departamentos de farmacia de los hospitales individuales, los cuales generalmente mantienen registros sobre la cantidad y capacidad de los cilindros de óxido nitroso comprados por año.

La duración de las residencias hospitalarias posteriores a las intervenciones quirúrgicas varía considerablemente, desde menos de un día hasta varios días o semanas. Es probable que las estimaciones de la cantidad de anestésicos administrados que se calculen a partir de la ocupación de las camas quirúrgicas resulten inexactas.

Debido a que el N<sub>2</sub>O se utiliza sólo en una fracción de los anestésicos, su uso no puede estimarse de manera fiable a partir de la cantidad de anestésicos administrados.

El flujo de N<sub>2</sub>O (L/minuto) proporcionado por el aparato anestésico puede modificarse por el anestesista durante la intervención quirúrgica típicamente entre cero y 6 L/minuto. Debido a esta variabilidad considerable, es probable que las estimaciones de consumo basadas en la duración de la anestesia resulten inexactas.

La proporción de anestésicos en los cuales se usa el N<sub>2</sub>O varía entre los países y entre los anestesistas de un país determinado. Parece ser que en los años recientes ha habido una disminución general en la proporción de anestésicos que incluyen el N<sub>2</sub>O, pero los datos son escasos.

#### USOS COMO PROPULSOR EN LOS PRODUCTOS DE AEROSOL, PRINCIPALMENTE EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

La cantidad total de N<sub>2</sub>O suministrado por tipo de aplicación debe obtenerse de los fabricantes y distribuidores de productos de N<sub>2</sub>O.

### 8.4.2.4 EXHAUSTIVIDAD

Los datos sobre importaciones, exportaciones y consumo obtenidos de los productores y distribuidores nacionales de N<sub>2</sub>O, por aplicación, son suficientes siempre y cuando: (i) todos los productores y distribuidores de N<sub>2</sub>O hayan sido identificados; (ii) los consumidores nacionales compren el N<sub>2</sub>O sólo a proveedores nacionales; y (iii) las importaciones y exportaciones contenidas en los productos sean insignificantes. Es una *buena práctica* verificar regularmente si hay distribuidores adicionales para garantizar que los usuarios finales no importen el N<sub>2</sub>O directamente (a granel) y que los productos identificados que contienen N<sub>2</sub>O no sean importados en cantidades importantes.

### 8.4.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Es una *buena práctica* calcular las emisiones de N<sub>2</sub>O empleando el mismo método para cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método más riguroso aplicable a todos los años de la serie temporal, la *buena práctica* consiste en recalcular las carencias según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

## 8.4.3 Evaluación de incertidumbre

### 8.4.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

En la bibliografía se supone ampliamente que el N<sub>2</sub>O inhalado por los pacientes durante la anestesia no es metabolizado. En los pulmones, el N<sub>2</sub>O es captado en forma continua como N<sub>2</sub>O disuelto en la sangre. La fracción que no captada se exhala en la respiración siguiente. Al principio, la captación del paciente es alta y luego decae progresivamente con el tiempo, en forma casi exponencial. Es razonable suponer que todo el N<sub>2</sub>O administrado finalmente se devuelve a la atmósfera y que el factor de emisión es 1,0. Es una hipótesis pragmática porque aún no existen datos fiables. Es probable que cualquier error en el factor de emisión sea muy pequeño en comparación con otras incertidumbres.

También, en el caso del uso como propulsor en los productos de aerosol, es probable que el N<sub>2</sub>O no reaccione durante el proceso. Por lo tanto, que el factor de emisión sea igual a 1,0 es una hipótesis pragmática y es probable que cualquier error en este factor sea en exceso pequeño en comparación con otras incertidumbres.

En el caso de que los compiladores del inventario estimen y declaren emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de usos diferentes al de las aplicaciones médicas y como propulsor en los productos de aerosol, puede ser necesario considerar cuidadosamente las incertidumbres del factor de emisión.

### **8.4.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD**

Las incertidumbres en la cantidad de N<sub>2</sub>O suministrado por tipo de aplicación obtenida de los fabricantes y distribuidores de productos de N<sub>2</sub>O pueden variar mucho de un país a otro. Si es posible obtener las estimaciones de las incertidumbres de los fabricantes y distribuidores, se las debe utilizar. Caso contrario, las incertidumbres en los datos de la actividad deben ser estimadas mediante el dictamen de expertos.

## **8.4.4 Garantía de calidad/Control de calidad (GC/CC), generación de informes y documentación**

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6. No es práctico incluir toda la documentación en el informe del inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.

Para lograr la transparencia, el aporte de información sobre las aplicaciones específicas incluidas en esta categoría de fuente resulta útil para comparar (las estimaciones de) las prácticas nacionales con las de otros países, en el ámbito regional o a escala mundial. Más aún, deben documentarse los métodos aplicados y las referencias.

Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad y aplicar los procedimientos de garantía de calidad esbozados en el Volumen 1, Capítulo 6. Se alienta a los compiladores del inventario a usar los métodos de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

Más abajo se bosquejan algunos procedimientos adicionales específicos:

### **Verificación de los datos de la actividad**

Los compiladores del inventario deben comparar los datos de la actividad presentados por los diferentes productores y distribuidores de N<sub>2</sub>O, y ajustarlos según los tamaños o las capacidades relativos de las compañías para identificar los valores erráticos. Todos los valores erráticos deben someterse a investigación para determinar si las diferencias pueden explicarse o si hay errores en las actividades declaradas.

### **Comparación de las emisiones con las de otros países**

Los compiladores del inventario deben comparar las emisiones de N<sub>2</sub>O procedentes de los tipos de uso de los productos incluidas en el inventario nacional con la información presentada por otros países similares. Para cada fuente, las emisiones *per cápita* o por unidad de PIB deben compararse con las de otros países. Si las cifras nacionales parecen relativamente muy altas o muy bajas, se debe procurar una justificación.

## Referencias

### SECCIONES 8.1 A 8.3

- Aoyama, T. (2004). Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA), "The Situation of Reduction in SF<sub>6</sub> Emissions from Gas-insulated Electrical Equipment In Japan" Paper and presentation delivered to the Conference on SF<sub>6</sub> and the Environment, Scottsdale, Arizona, December 1-3, 2004.
- AREVA (2005). AREVA, World energy experts, Activity and Sustainable Development Report 2004. (Registered office: rue Le Peletier – 75009 Paris – France, <http://www.areva.com/>), published in July 2005.
- Boeing (2005). "E-3 AWACS in Service Worldwide", March 2005. Boeing Integrated Defense Systems, P.O. Box 516, St. Louis, MO 63166, (Available from [http://www.boeing.com/defense-space/ic/awacs/docs/E-3AWACS\\_overview.pdf](http://www.boeing.com/defense-space/ic/awacs/docs/E-3AWACS_overview.pdf))
- Burton, C. S. (2006). "Uses and Air Emissions of Liquid PFC Heat Transfer Fluids from the Electronics Sector," Report prepared for Scott C. Bartos, U.S. Environmental Protection Agency.
- Ecofys (2005). Reductions of SF<sub>6</sub> Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe, Final Report to CAPIEL, S, Wartmann and J. Harnisch, June 28, 2005
- FEPC and JEMA (2004). Federation of Electric Power Companies (FEPC) and the Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA), "Japanese Emission Factors." (Personal communication from Mr. Kiyoshi Saitoh of Japan Electrical Manufacturers Association (JEMA) to Mr. Kiyoto Tanabe, IPCC Technical Support Unit, November, 2004.)
- Harris, D., and Hildebrandt, J. (2003). "Spray Cooling Electrical and Electronic Equipment," *COTS Journal*, November 2003.
- CIGRE (2005). International Council on Large Electric Systems (CIGRE) Publication No.276: Guide for the Preparation of customized "Practical SF<sub>6</sub> Handling Instructions", Task Force B3.02.01, August 2005.
- IEC (1996). International Electro-technical Commission (IEC) Standard 60694: "Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards," Second edition, 1996-05. Geneva, Switzerland.
- Koch, E.C. (2004). "Special Materials in Pyrotechnics: III. Application of Lithium and its Compounds in Energetic Systems;" *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Volume 29, Issue 2, Pages 67 - 80, 2004
- May, G. (2006). F<sub>2</sub> Chemicals Limited. Personal communication with Deborah Ottinger Schaefer, January 23, 2006.
- Maruyama, S. and Meguro, M. (2000). "SF<sub>6</sub> Gas Emission Reduction From Gas-Insulated Electrical Equipment in Japan.," Paper presented at the Conference on SF<sub>6</sub> and the Environment: Emission Reduction Strategies in San Diego, USA (November 2000).
- NIST (1997). Gases for Electrical Insulation and Arc Interruption: Possible Present and Future Alternatives to Pure SF<sub>6</sub>; by L. G. Christophorou, J. K. Olthoff, D. S. Green; NIST Technical Note 1425, National Institute of Standards, November 1997.
- Schwarz, W. and Leisewitz, A. (1996). Current and future emissions of fluorinated compounds with global warming effect in Germany (in German). Report UBA-FB 1060 1074/01, Umweltbundesamt, Berlin.
- Schwarz, W. and Leisewitz, A. (1999). Emissions and reduction potentials of HFCs, PFCs, and SF<sub>6</sub> in Germany. Report UBA-FB 298 41 256, Umweltbundesamt, Berlin.
- Schwarz, W. (2005). Emissions, Activity Data, and Emission Factors of Fluorinated Greenhouse Gases (F-Gases) in Germany 1995-2002. Research Report 201 41 261/01, UBA-FB 000811/e, Umweltbundesamt, Berlin.
- Schwarz, W. (2006). "The German Monitoring System for SF<sub>6</sub> Emissions from Equipment for Electricity Transmission and Distribution."
- Smythe, K. (2004). 'Trends in SF<sub>6</sub> Sales and End-Use Applications: 1961-2003.' International Conference on SF<sub>6</sub> and the Environment: Emission Reduction Technologies, December 1-3, 2004, Scottsdale, AZ.
- U.S. EPA (2004). U.S. Inventory of Greenhouse Gases and Sinks, 1990-2002. U.S. Environmental Protection Agency, April, 2004.
- Vlachogiannis, D., *et al.* (2005). Assessment of the impact of SF<sub>6</sub> and PFCs reservoir tracers on global warming, the AEOLOS study, Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases (NCGG-4), coordinated by A. van Amstel, Rotterdam, p. 389-396.



#### SECCIÓN 8.4

Austria [Umweltbundesamt] (2004), AUSTRIA'S NATIONAL INVENTORY REPORT 2004, Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change

Beatty PCW, Kay B and Healy TEJ (1984), *Measurement of the rates of nitrous oxide uptake and nitrogen excretion in man*. British Journal of Anaesthesia; 56: 223-232.

Environment Canada (2004), Canada's Greenhouse Gas Inventory 1990-2002

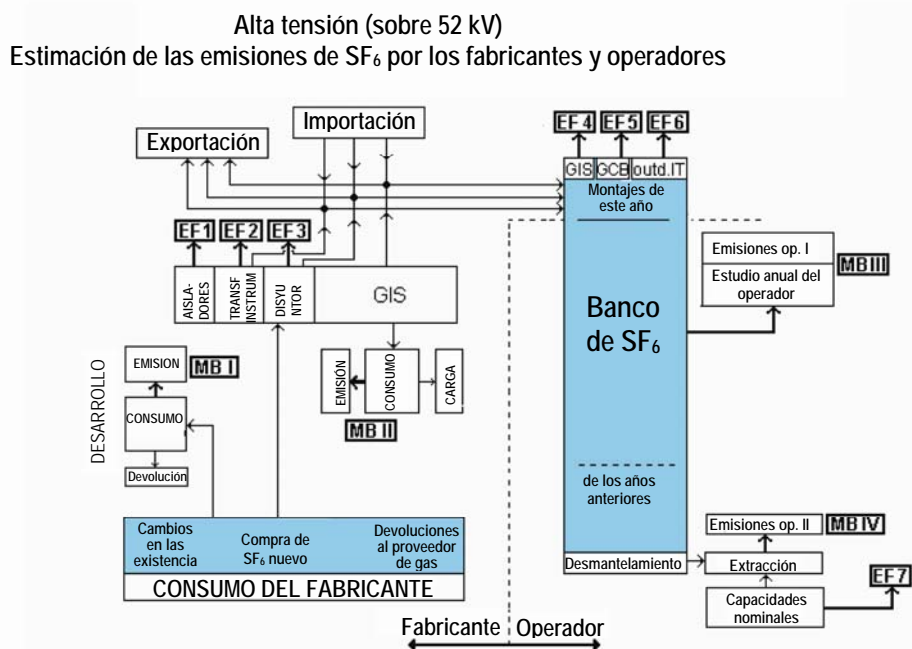
Jordan M. (1996), Pharmacology in the Practice of Anaesthesia p 43. Arold, London. Edited by Kaufman L and Tabener PV.

U.S. EPA (2004). U.S. Inventory of Greenhouse Gases and Sinks, 1990-2002. U.S. Environmental Protection Agency, April, 2004.

## Anexo 8A Ejemplos de sistemas de inventarios nacionales de SF<sub>6</sub> de Nivel 3

Las Figuras 8A.1 y 8A.2 ilustran el enfoque Híbrido de Nivel 3 tal como se aplica actualmente en Alemania para los equipos de presión cerrados (alta tensión) y de presión sellados (tensiones intermedias) (Schwarz, 2006). En el diagrama, «MB» indica los procesos o las etapas del ciclo de vida útil para los cuales se emplea el enfoque por equilibrio de masas, mientras que «EF» indica los procesos y las etapas del ciclo de vida útil para los cuales se emplean factores de emisión. Por ejemplo, en la fabricación, el enfoque por equilibrio de masas se utiliza para estimar las emisiones provenientes del llenado de los conmutadores y subestaciones con aislación de gas, mientras que los factores de emisión se utilizan para estimar las emisiones procedentes del llenado de los aisladores pasamuros, transformadores para instrumentos y disyuntores. En Alemania, estos últimos procesos poseen índices de emisión del 1 por ciento o menores, lo que dificulta la medición de las emisiones utilizando los métodos de equilibrio de masas. Nótese que este diagrama está concebido sólo como ejemplo: al implementar los enfoques de Nivel 3, se alienta a los países a escoger los enfoques y los factores de emisión apropiados para sus circunstancias nacionales.

Figura 8A.1 Ejemplo del enfoque de Nivel 3: Alemania, equipos de alta tensión

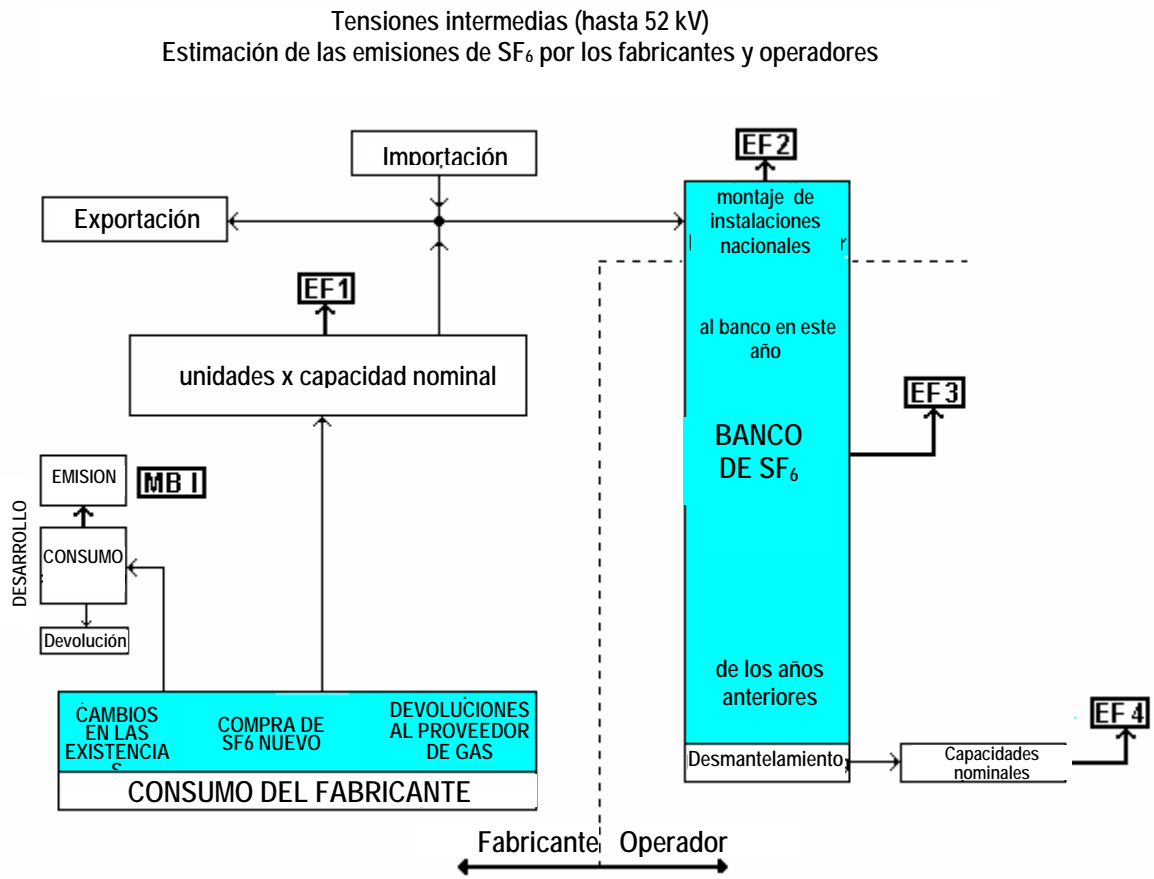


| LEYENDA PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES EN ALTAS TENSIONES |   |   |
|--|---|---|
| <b>ENFOQUE POR EQUILIBRIO DE MASAS</b>                         |   |   |
| SÍMBOLO  | Ecuación  |   |
| MB I   | Emisiones del desarrollo = Consumo para el desarrollo menos la devolución del departamento de desarrollo                        |   |
| MB II  | Emisiones de la carga de los GIS = Consumo para la carga menos la carga (capacidades nominales); se aplica también a las líneas |   |
| MB III   | Emisiones operativas I = Conservación del nivel de llenado controlado anualmente por los operadores de los equipos              |   |
| MB IV  | Emisiones operativas II = Capacidad nominal de los equipos desmantelados menos el gas recuperado de estos equipos               |   |
| <b>ENFOQUE POR FACTOR DE EMISIÓN (EF)</b>                      |   |   |
| SÍMBOLO  | Tipo de factor de emisión (EF)  | Multiplicado por  |
| EF 1   | EF del llenado de fábrica de los aisladores pasamuros*  | NC** de los aisladores pasamuros llenados en la fábrica |
| EF 2   | EF del llenado de fábrica de los transformadores externos para  | NC de los IT llenados en la fábrica                     |
| EF 3   | EF del llenado de fábrica de los disyuntores con aislamiento de gas   | NC de los GCB llenados en la fábrica                    |
| EF 4   | EF del montaje en el sitio de los GIS y GIL   | NC de los GIS y GIL llenados en el sitio                |
| EF 5   | EF del montaje en el sitio de los GCB   | NC de los GCB llenados en el sitio                      |
| EF 6   | EF del montaje en el sitio de los IT externos   | NC de los IT externos llenados en el sitio              |
| EF 7   | EF de la eliminación  | NC de los equipos desmantelados                         |

\* Los aisladores pasamuros son considerados parte integrante de los GIS en el caso de la instalación en el sitio

\*\* NC = Capacidad nominal total de los equipos que participan en un proceso determinado.

Figura 8A.2 Ejemplo del enfoque de Nivel 3: Alemania, equipos de tensión intermedia



| LEYENDA PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES EN TENSIONES INTERMEDIAS |  |   |
|--|--|---|
| <b>Enfoque por equilibrio de masas</b>                               |  |   |
| SÍMBOLO  | Ecuación   |   |
| MB I   | Emisiones del desarrollo = Consumo para el desarrollo menos devolución del departamento de desarrollo* |   |
| <b>Enfoque por factor de emisión (EF)</b>                            |  |   |
| SÍMBOLO  | Tipo de factor de emisión (EF)   | Multiplicado por  |
| EF 1   | EF del llenado de fábrica  | NC** del llenado de fábrica   |
| EF 2   | EF del montaje en el sitio   | NC*** del llenado en el sitio   |
| EF 3   | EF de la operación   | NC de la operación de los equipos (banco total del año actual y de los años anteriores) |
| EF 4   | EF de la eliminación   | NC de los equipos desmantelados   |

\* Este enfoque por equilibrio de masas se aplica también a la fabricación de los Transformadores para instrumentos con resinas moldeadas (IT)

\*\* NC = Capacidad nominal total de los equipos que participan en un proceso determinado.

\*\*\* En los países donde los equipos de alta tensión han sido llenados ya en la fábrica las emisiones del montaje en el sitio son insignificantes