

## **CAPÍTULO 3**

---

# **EMISIONES DE LA INDUSTRIA QUÍMICA**

## **Autores**

### ***Sección 3.1***

Jochen Harnisch (Alemania)

### ***Secciones 3.2 – 3.8***

Charles Jubb (Australia)

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

### ***Sección 3.9***

Robert Lanza (Estados Unidos)

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

### ***Sección 3.10***

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

## **Autores colaboradores**

### ***Secciones 3.2 – 3.8***

Javier Pérez-Ramírez (España)

### ***Sección 3.9***

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

## Índice

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

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

## Ecuaciones

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

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

## Figuras

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

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

## Cuadros

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

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

## Recuadros

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

## 3 EMISIONES DE LA INDUSTRIA QUÍMICA

### 3.1 INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La Sección 3.10 aborda las emisiones provenientes de la producción fluorquímica, es decir, del HFC-23 de la producción del HCFC-22, así como de las emisiones fugitivas y de los productos derivados de la producción de otros compuestos fluorados, incluidos los hidrofluorocarbonos (HFC), el hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) y el hexafluoruro de uranio ( $\text{UF}_6$ ).

Tanto en este capítulo como en el Volumen 2, sobre el Sector Energía, hay que cuidar de no efectuar cálculos dobles ni de omitir ni de omitir emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) pues las emisiones de  $\text{CO}_2$  que resultan de la función del carbono, tanto como reactivo en los procesos y como fuente de calor para sostener las reacciones químicas involucradas en los procesos químicos, pueden estar estrechamente relacionadas. En los casos en que haya tecnologías de captura instaladas en una planta, el  $\text{CO}_2$  capturado debe restarse de los cálculos de emisiones realizados con los niveles superiores. Las orientaciones respectivas sobre captura y destrucción ulterior o sobre el uso de HFC-23 u otros productos fluorquímicos, se abordan en la Sección 3.10. En toda metodología que tome en cuenta la captura de  $\text{CO}_2$  debe considerarse que las emisiones de  $\text{CO}_2$  capturado en el proceso pueden estar relacionadas tanto con la combustión como con el proceso, a la vez. En los casos en que las emisiones debidas a la combustión y al proceso deban declararse por separado, p. ej., en la industria petroquímica, los compiladores del inventario deben garantizar que las mismas cantidades de  $\text{CO}_2$  no sean contabilizadas por partida doble. En estos casos, la cantidad total de  $\text{CO}_2$  capturado debe declararse preferentemente en las categorías correspondientes de fuente de Energía e IPPU, en proporción con las cantidades de  $\text{CO}_2$  generado en cada categoría de fuente. La hipótesis por defecto es que no hay captura ni almacenamiento (CCS) de  $\text{CO}_2$ . Para más información sobre la captura y el almacenamiento de  $\text{CO}_2$ , refiérase al Volumen 3, Sección 1.2.2 y para mayores detalles sobre captura y almacenamiento, al Volumen 2, Sección 2.3.4.

### 3.2 PRODUCCIÓN DE AMONÍACO

#### 3.2.1 Introducción

El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) es uno de los principales productos químicos industriales y el material más importante nitrogenado producido. El gas de amoníaco se utiliza directamente como fertilizante, en el tratamiento por calor, en la obtención de pulpa de papel, en la fabricación de ácido nítrico y de nitratos, en la fabricación del éster de ácido nítrico y de los compuestos nitrados, explosivos de diversa índole y como refrigerante. Las aminas, amidas y otros diversos compuestos orgánicos, tales como la urea, se fabrican a partir del amoníaco (Austin, 1984; p.303).

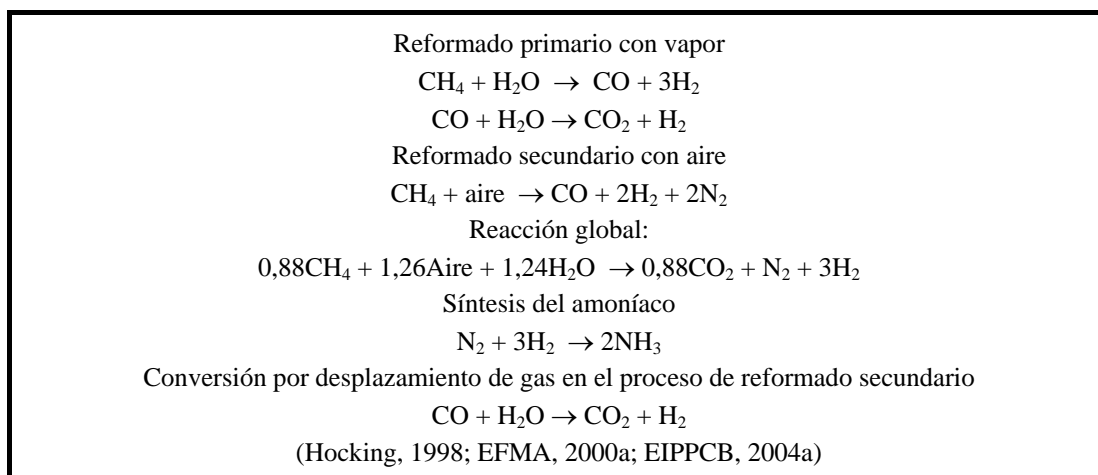
La producción de amoníaco requiere una fuente de nitrógeno (N) y una de hidrógeno (H). El nitrógeno se obtiene del aire mediante la destilación del aire líquido o a través de un proceso de oxidación en el cual se quema aire y se recupera nitrógeno residual. La mayor parte del amoníaco se obtiene del gas natural (principalmente metano ( $\text{CH}_4$ )), aunque puede obtenerse H de otros hidrocarburos (carbón [por vía indirecta], petróleo) y agua (Hocking,



1998; p.317). Un pequeño número de plantas siguen usando fuel óleo como entrada de combustible y como fuente de H en el proceso de oxidación parcial. El contenido de carbono (C) del hidrocarburo se elimina del proceso en la etapa primaria de reformado al vapor y en la etapa de conversión en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por desplazamiento, que es la principal emisión potencial de gas de efecto invernadero. Las plantas que usan hidrógeno en vez de gas natural para producir amoníaco no liberan CO<sub>2</sub> a partir de este proceso de síntesis.

### 3.2.2 Cuestiones metodológicas

La química involucrada en la obtención de las sustancias para la alimentación del proceso de producción del amoníaco es similar, independientemente del hidrocarburo utilizado, sea éste el CH<sub>4</sub> u otros combustibles fósiles (Hocking, 1998; p.319). Puesto que en la industria predomina el uso del gas natural, el esquema del proceso y de las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>) que se presenta a continuación está basado en la producción a partir del gas natural. La producción de amoníaco anhidro por reformado catalítico al vapor de gas natural (principalmente CH<sub>4</sub>) tiene como resultado la producción de dióxido de carbono como producto derivado e implica las siguientes reacciones.



Los procesos que afectan las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la producción de amoníaco son:

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

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

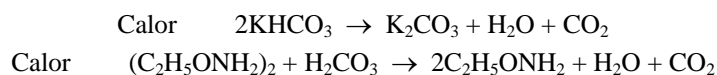
conversión del CO<sub>2</sub> residual en metano mediante catalizadores de níquel para purificar el gas de síntesis.

La producción de amoníaco representa una fuente significativa de emisiones industriales no energéticas de CO<sub>2</sub>. En las plantas que usan el proceso de reformado al vapor del gas natural, la liberación principal de CO<sub>2</sub> se produce durante la regeneración de la solución depuradora del CO<sub>2</sub> con emisiones menores resultantes de la depuración de los condensados de aguas amoniacales.

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

#### REGENERADOR DE DIÓXIDO DE CARBONO

Después de la absorción del CO<sub>2</sub> de los gases del proceso, se regeneran (para ser reutilizadas) las soluciones depuradoras saturadas (p. ej., carbonato de potasio, MEA, etc.) mediante la separación al vapor y/o por ebullición, para liberar el CO<sub>2</sub> de los bicarbonatos según las reacciones siguientes:



El gas separador, que contiene CO<sub>2</sub> y otras impurezas, puede ser dirigido hacia una planta de urea (cuando ésta esté en funciones), hacia una planta de ácido carbónico líquido, o bien, ventearse hacia la atmósfera (*Environment Canada*, 1987).

## DEPURADOR DE CONDENSADOS

Luego de la conversión por desplazamiento a bajas temperaturas, el enfriamiento del gas de síntesis forma un condensado que contiene pequeñas cantidades de CO<sub>2</sub> y otras impurezas del proceso. Se separa el condensado al vapor, lo que puede resultar en el venteo de sus componentes hacia la atmósfera, pero normalmente se recicla hacia el proceso junto con la corriente del proceso (U.S. EPA, 1985).

### 3.2.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

La elección del método depende de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión de la Figura 3.1. Las emisiones se estiman del total de requisitos de combustible o de los valores derivados de las estimaciones del total de requisitos de combustible, utilizados en la producción de NH<sub>3</sub>. Los requisitos en energía proveniente de combustibles no se contabilizan por separado. Nótese que, al estimar las emisiones, los valores declarados en unidades de energía (o unidades de volumen) deben ser convertidos en unidades de masa.

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

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

## MÉTODO DE NIVEL 1

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

### ECUACIÓN 3.1 EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE AMONÍACO – NIVEL 1

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

Donde:

$E_{\text{CO}_2}$  = emisiones de CO<sub>2</sub>, kg.

AP = producción de amoníaco, toneladas

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

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

FOC = factor de oxidación de carbono del combustible, fracción

$R_{\text{CO}_2}$  = CO<sub>2</sub> recuperado para utilización ulterior en un proceso secundario (producción de urea), kg.

La producción de amoníaco y los factores de emisión pueden obtenerse a través de las estadísticas nacionales y los factores de emisión pueden determinarse a partir de los valores por defecto presentados en el Cuadro 3.1. Cuando no se disponga de información sobre el tipo de combustible y/o sobre el tipo de proceso, es una *buena práctica* utilizar los factores de emisión más elevados del Cuadro 3.1. El CO<sub>2</sub> recuperado para utilización en un proceso secundario puede estimarse a partir de la cantidad de urea producida, para lo cual el CO<sub>2</sub> se estima multiplicando la producción de urea por 44/60, el cociente estequiométrico del CO<sub>2</sub> para la urea. Cuando se efectúa una deducción para el CO<sub>2</sub> utilizado en la producción de urea, es una *buena práctica* garantizar que las emisiones provenientes del uso de la urea estén incluidas en algún otro lugar del inventario. Si no se dispone de datos sobre la producción de urea, es una *buena práctica* suponer que el CO<sub>2</sub> recuperado es nulo.

## MÉTODO DE NIVEL 2

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

$$\text{ECUACIÓN 3.2}$$

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

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

Donde:

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

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

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

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

$$\text{ECUACIÓN 3.3}$$

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

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

Donde:

$E_{CO_2}$  = emisiones de CO<sub>2</sub>, kg.

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

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

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

$R_{CO_2}$  = CO<sub>2</sub> recuperado para utilización ulterior en un proceso secundario (producción de urea, captura y almacenamiento (CCS) de CO<sub>2</sub>), kg.

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

## MÉTODO DE NIVEL 3

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

$$\text{ECUACIÓN 3.4}$$

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

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

Donde:

$TFR_i$  = requisitos totales de combustible de tipo  $i$ , GJ

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

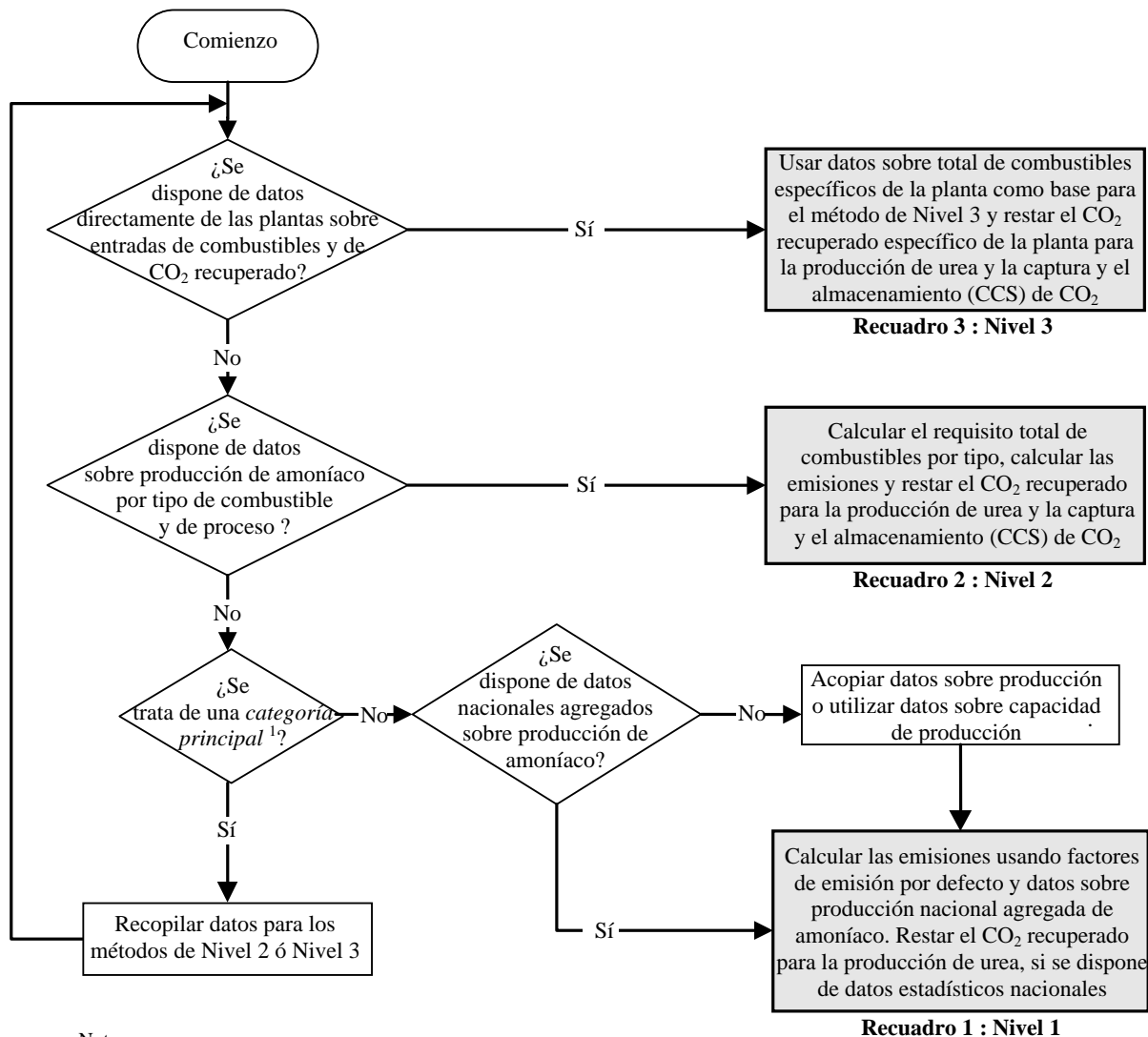
Una vez que se hayan recolectado y cotejado los datos sobre el total de los requisitos de combustible, pueden estimarse las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante la Ecuación 3.3. Cuando se utilice el método de Nivel 3, es una *buena práctica* obtener información de los productores sobre el CCF y el FOC,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

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

**RECUADRO 3.1**  
**CO<sub>2</sub> RECUPERADO COMO GAS INDUSTRIAL**

El CO<sub>2</sub> recuperado para las aplicaciones como gas industrial no se contabiliza por separado pues éste representa un volumen de uso a corto plazo relativamente bajo y porque se supone que todo el carbono proveniente del gas industrial se emite hacia la atmósfera en el país productor. Por ejemplo, se supone que el CO<sub>2</sub> industrial utilizado en las aplicaciones de refrigeración se libera en el país productor.

**Figura 3.1**      **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de amoníaco**



Nota:

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

### 3.2.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

#### MÉTODO DE NIVEL 1

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

aquellos casos en que no estén disponibles los datos específicos de las plantas. Los factores por defecto son estimaciones del total de requisitos de combustible por unidad de salida, expresados en unidades de energía. Pueden convertirse en unidades de masa basándose en el contenido de C del combustible y en el factor de oxidación de C indicados en el Volumen 2 de estas *Directrices*: Energía. También se incluyen estos valores en el Cuadro 3.1, pues corresponden a factores de emisión en toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de NH<sub>3</sub> que se han derivado utilizando estos valores.

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

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

## MÉTODO DE NIVEL 2

Los valores del total de requisitos de combustible por unidad de salida del Cuadro 3.1 puede utilizarse conjuntamente con los datos sobre la producción de NH<sub>3</sub> por tipo de combustible y por tipo de proceso, ya sea con valores por defecto o con datos específicos del país sobre el factor de contenido de C y el factor de oxidación de carbono de los combustibles.

## MÉTODO DE NIVEL 3

La información obtenida al nivel de plantas sobre el total de requisitos de combustible proporciona los datos más rigurosos para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la producción de amoníaco. Es una *buena práctica* obtener información sobre el factor CCF y el factor FOC de los productores o utilizar datos del Sector Energía específicos del país. El CCF es la variable de factor de emisión más importante del cálculo para derivar la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>. La derivación de las emisiones a partir de la producción de amoníaco al nivel de plantas depende de la estimación exacta de los requisitos de combustible por unidad de salida, así como de la información sobre las demás variables.

### 3.2.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

#### MÉTODO DE NIVEL 1

El método de Nivel 1 exige datos nacionales sobre la producción de NH<sub>3</sub>. Si no se dispone de datos de la actividad de nivel nacional, se puede utilizar la información sobre la capacidad de producción. Si el compilador del inventario está en condiciones de documentar que durante un año la utilización ha sido inferior a la capacidad, es una *buena práctica* multiplicar el total de la capacidad de producción nacional por un factor de utilización de la capacidad de 80 ± 10 por ciento (es decir, un intervalo entre 70 y 90 por ciento). Debe aplicarse el mismo factor de utilización de la capacidad a cada año de una serie temporal.

#### MÉTODO DE NIVEL 2

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

#### MÉTODO DE NIVEL 3

Los datos de la actividad al nivel de plantas requeridos por el método de Nivel 3 son los del total de requisitos de combustible clasificados por tipo de combustible, CO<sub>2</sub> recuperado para uso en un proceso secundario u otras aplicaciones y los de la producción de amoníaco. Aunque la producción de amoníaco no se usa en los cálculos de Nivel 3, la recopilación de todos los datos de las actividades que influyen en la estimación de las emisiones permite efectuar cambios a través del tiempo e identificar errores de declaración en los datos de la actividad. Cuando se utilicen los requisitos en combustible por unidad de salida, es necesario recopilar datos de producción al nivel de plantas.

#### RECUADRO 3.2 CÓMPUTO DOBLE

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

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

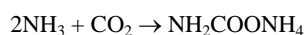
#### RECUADRO 3.3 PRODUCCIÓN DE UREA

La urea (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) (carbonilamida) es un importante fertilizante nitrogenado, con el más alto contenido de nitrógeno de entre todos los fertilizantes sólidos. La urea se emplea también como un suplemento alimenticio proteínico para rumiantes, en la producción de melamina, como ingrediente en la fabricación de resinas, plásticos, adhesivos, recubrimientos, agentes de tratamiento inecogible para textiles y resinas de intercambio iónico (Austin, 1984; pp.311-312). Está en desarrollo un uso como agente reductor en la reducción catalítica selectiva del NO<sub>x</sub> en los gases de escape producidos por los motores diesel o de gasolina a inyección directa. Las emisiones provenientes de las aplicaciones de la urea deben contabilizarse en los sectores de las aplicaciones apropiadas.

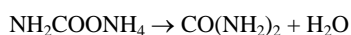
La producción de urea es un proceso secundario asociado a las plantas de producción de amoníaco. El proceso utiliza la corriente de producto derivado CO<sub>2</sub> de una planta de síntesis de amoníaco junto con el amoníaco.

La urea se produce mediante la reacción del NH<sub>3</sub> y del CO<sub>2</sub> para producir carbamato de amonio, el cual se deshidrata luego para obtener urea según las reacciones:

Producción de carbamato de amonio:



Deshidratación del carbamato de amonio en urea:



Suponiendo una conversión completa del  $\text{NH}_3$  y del  $\text{CO}_2$  en urea, se requieren 0,733 toneladas de  $\text{CO}_2$  por tonelada de urea producida. Las emisiones de gases de efecto invernadero de las plantas modernas tienden a ser reducidas. El  $\text{NH}_3$  y el  $\text{CO}_2$  en exceso están contenidos en el agua de proceso que se forma durante la reacción. El tratamiento del agua está diseñado para recuperar estas sustancias del agua de proceso para permitir el reciclado de los gases hacia la síntesis (EIPPCB, 2004a; p.118). Basándose en las entradas más comunes de las plantas modernas (EIPPCB, 2004a; p.121), los valores de las entradas implican que las emisiones de  $\text{CO}_2$  varían entre 2 y 7 kg. por tonelada de urea. Para una planta que produce 1 000 toneladas de urea por día y suponiendo una utilización de su capacidad al 90 por ciento, implicaría emisiones anuales de  $\text{CO}_2$  ligeramente superiores a 2Gg.

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

### 3.2.2.4 EXHAUSTIVIDAD

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

La cobertura completa de la producción de amoníaco reexige contabilizar todas las emisiones provenientes de todas las fuentes. Las emisiones de  $\text{CO}_2$  se obtienen directamente. Se puede mejorar la exhaustividad garantizando que se hayan incluido las emisiones de todo  $\text{CH}_4$  fugitivo, provengan éstas de la etapa de reformado primario o del proceso de metanización catalítica del  $\text{CO}_2$ . Con el fin de incluir las emisiones de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{SO}_2$  del proceso de reformado primario, véanse las orientaciones propuestas en el Capítulo 7 del Volumen 1: Orientación general y generación de informes

### 3.2.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

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

## 3.2.3 Evaluación de incertidumbre

### 3.2.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

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

### 3.2.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

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

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

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

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

#### Comparación de los factores de emisión

Los compiladores del inventario deben verificar si los factores de emisión estimados están dentro del intervalo de los factores de emisión por defecto proporcionados para el método de Nivel 1 y, además, deben garantizar que los factores de emisión sean coherentes con los valores derivados del análisis de la química del proceso. Por ejemplo, la tasa de generación de CO<sub>2</sub> basada en el gas natural no debe ser inferior a 1,14 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de amoníaco producido. Si los factores de emisión caen fuera de los intervalos estimados, es una *buena práctica* evaluar y documentar las condiciones específicas de la planta que dan cuenta de las diferencias.

#### Verificación de los datos específicos de la planta

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

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

Método de cálculo y estimación utilizado;

Lista de las hipótesis formuladas;

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

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

### 3.2.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

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

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



## 3.3 PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO

### 3.3.1 Introducción

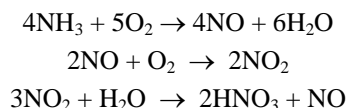
El ácido nítrico se utiliza principalmente como materia prima en la fabricación de fertilizantes nitrogenados. Puede emplearse también en la producción de ácido adípico y de explosivos (p. ej., la dinamita), para el grabado de metales y en el procesamiento de metales ferrosos.

Durante la producción de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) se genera óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) como un producto derivado no intencional de la oxidación catalítica a altas temperaturas del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). La cantidad de  $\text{N}_2\text{O}$  que se forma depende, entre otros factores, de las condiciones de combustión (presión, temperatura), de la composición y envejecimiento del catalizador y del diseño del quemador (EFMA, 2000b; p.15). Además, se produce algo de  $\text{NO}_x$ . La formación de  $\text{NO}_x$  es más pronunciada durante la puesta en marcha y detención de la reacción, cuando el proceso es menos estable (EFMA, 2000b; p.15). El  $\text{N}_2\text{O}$  se genera también en otros procesos industriales que utilizan óxidos de nitrógeno o ácido nítrico como sustancias de alimentación al proceso (p. ej., en la fabricación de caprolactama, de glicoxal y en el reprocesamiento del combustible nuclear). El ácido nítrico, si no es reducido, es una fuente significativa de  $\text{N}_2\text{O}$  atmosférico y constituye la fuente principal de emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  en la industria química. A pesar de que, a diferencia de otras emisiones provenientes de la producción de ácido nítrico, no existen tecnologías maduras especialmente diseñadas para destruir el  $\text{N}_2\text{O}$  (Perez-Ramirez *et al.*, 2003), en años recientes se han desarrollado un cierto número de tecnologías de reducción del  $\text{N}_2\text{O}$  durante la fabricación del ácido nítrico. Entre los ejemplos se incluyen un proceso de gases de cola en el cual tanto las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  como las de  $\text{NO}$  pueden reducirse en forma simultánea (lo que requiere del aporte de amoníaco al gas de cola), una opción de tratamiento del gas de proceso que implica la descomposición catalítica directa inmediatamente después de los filtros catalíticos de platino y una opción de descomposición catalítica exhaustiva.

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

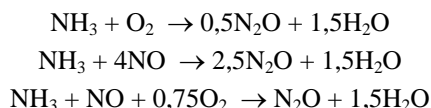
### 3.3.2 Cuestiones metodológicas

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



La generación de óxido nitroso durante la producción de ácido nítrico no está bien documentada. Las etapas de oxidación del nitrógeno bajo condiciones generales de reacción de reducción se consideran fuentes potenciales de  $\text{N}_2\text{O}$ . Según la documentación, el óxido nítrico ( $\text{NO}$ ), un producto intermedio de la producción de ácido nítrico, se descompone fácilmente a altas presiones en  $\text{N}_2\text{O}$  y en dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), en el intervalo de temperaturas que oscila entre 30 y 50 °C (Cotton y Wilkinson, 1988).

Perez-Ramirez *et al.* (2003; p.123), especifican tres reacciones intermedias que ocurren durante la oxidación del amoníaco y que pueden resultar en la formación de  $\text{N}_2\text{O}$ :



Las reacciones que conducen a la formación de  $\text{N}_2\text{O}$  ó  $\text{N}_2$  son indeseables porque disminuyen la eficiencia de conversión del  $\text{NH}_3$  y reducen el rendimiento del producto deseado, el  $\text{NO}$  (Perez-Ramirez *et al.*, 2003; p.124). No es posible definir una relación precisa entre la entrada de  $\text{NH}_3$  y la formación de  $\text{N}_2\text{O}$  porque, en general, «la cantidad de  $\text{N}_2\text{O}$  formado depende de las condiciones de combustión, de la composición y el estado (envejecimiento) del catalizador y del diseño del quemador» (Perez-Ramirez *et al.*, 2003; p.123). Las emisiones

de N<sub>2</sub>O dependen de la cantidad generada en el proceso de producción y de la cantidad destruida en todo proceso ulterior de reducción. La reducción del N<sub>2</sub>O puede ser intencional, mediante la instalación de equipos diseñados para destruir N<sub>2</sub>O, o bien, no intencional, en los sistemas diseñados para reducir otras emisiones tales como las de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

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

Las medidas de reducción primaria están orientadas a prevenir la formación del N<sub>2</sub>O en el quemador de amoníaco. Esto implica la modificación del proceso de oxidación del amoníaco y/o del catalizador.

Las medidas de reducción secundaria eliminan el N<sub>2</sub>O del flujo intermedio valioso, vale decir, de los gases NO<sub>x</sub> que circulan entre el convertidor de amoníaco y la columna de absorción. Por lo general, esto implicará intervenir en el flujo a la temperatura más alta, inmediatamente después del catalizador de oxidación del amoníaco.

Las medidas de reducción terciaria implican un tratamiento para destruir el N<sub>2</sub>O de los gases de cola que salen de la columna de absorción. La posición más prometedor para la reducción del N<sub>2</sub>O se sitúa en el flujo que precede a la turbina de expansión de los gases de cola.

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

<b>CUADRO 3.2</b> <b>MÉTODOS DE REDUCCIÓN DEL N<sub>2</sub>O Y MEDIDAS DE REDUCCIÓN</b>	
<b>Métodos de reducción</b>	<b>Medidas de reducción</b>
Reducción primaria	Proceso de oxidación óptima Modificación de los filtros catalíticos de platino-rodio Catalizadores de combustión basados en óxidos
Reducción secundaria	Descomposición homogénea en el quemador Descomposición catalítica en el quemador (descomposición catalítica del gas de proceso) Descomposición catalítica en el flujo de salida del quemador (previo al paso por la columna de absorción)
Reducción terciaria	Descomposición térmica Reacción de reducción catalítica no selectiva (NSCR, del inglés <i>Non-Selective Catalytic Reduction</i> ) Descomposición catalítica del gas de cola Reacción de reducción catalítica selectiva (SCR, del inglés <i>Selective Catalytic Reduction</i> )
Reducción cuaternaria	Reacción de reducción catalítica no selectiva (NSCR) Descomposición catalítica Reacción de reducción catalítica selectiva (SCR)
Fuente: Adaptado de Perez-Ramirez <i>et al.</i> (2003).	

La reducción alcanzada dependerá de la tecnología implementada con las medidas terciarias que se considera «permiten alcanzar altos niveles de eliminación del N<sub>2</sub>O (>99 por ciento)» (Perez-Ramirez *et al.*, 2003; p.136). Además, se señala que, si bien la medida de NSCR es una tecnología probada para la reducción de N<sub>2</sub>O, el reemplazo de sistemas NSCR por sistemas SCR para reducir el NO<sub>x</sub> produce un efecto secundario negativo al aplicarlo a la reducción del N<sub>2</sub>O. Más aún, « es muy probable que la NSCR ya no sea viable en la actualidad, debido a sus altos niveles de consumo de combustible y a sus elevadas emisiones secundarias» (Perez-Ramirez *et al.*, 2003; p.137).

La adopción futura de tecnologías dependerá de la rentabilidad y de la rigurosidad de las normas sobre emisiones. Hay más soluciones rentables disponibles para las plantas nuevas que para las plantas existentes. Las soluciones para los gases de cola son atractivas pues no interfieren con el proceso. La descomposición directa de N<sub>2</sub>O es una solución muy atractiva y rentable para las plantas donde los gases de cola alcanzan temperaturas superiores a los 449,85 °C (723 K). Sin embargo, dos tercios de las plantas de ácido nítrico de Europa trabajan con gases de cola a temperaturas más bajas. Para realizar este post tratamiento se requeriría el uso de reductores

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

### 3.3.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

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

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

el monitoreo periódico de las emisiones que se efectúa durante un período representativo de la pauta acostumbrada de operación de la planta para derivar un factor de emisión que se multiplica por la salida (100 por ciento de HNO<sub>3</sub>) para derivar las emisiones;

el muestreo irregular para derivar un factor de emisión que se multiplica por la salida (100 por ciento de HNO<sub>3</sub>) para derivar las emisiones;

la multiplicación de la salida (100 por ciento de HNO<sub>3</sub>) por un factor de emisión por defecto.

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

#### MÉTODO DE NIVEL 1

Las emisiones se estiman de la manera siguiente:

<p><b>ECUACIÓN 3.5</b></p> <p><b>EMISIONES DE N<sub>2</sub>O DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO – NIVEL 1</b></p> $E_{N_2O} = EF \cdot NAP$
--

Donde:

$E_{N_2O}$  = emisiones de N<sub>2</sub>O, kg.

EF = factor de emisión de N<sub>2</sub>O (por defecto), kg. de N<sub>2</sub>O/toneladas de ácido nítrico producido

NAP = producción de ácido nítrico, toneladas

Cuando se aplica el método de Nivel 1, es una *buena práctica* suponer que no hay reducción de las emisiones de N<sub>2</sub>O y utilizar el mayor factor de emisión por defecto presentado en el Cuadro 3.3, según el tipo de tecnología

#### MÉTODO DE NIVEL 2

Hay un gran número de plantas de ácido nítrico (las estimaciones van de 255 a 600 plantas, según Choe *et al.*, 1993; Bockman y Granli, 1994) que presentan variaciones sustanciales en los factores de generación de N<sub>2</sub>O entre los tipos de planta. Por consiguiente, pueden necesitarse más frecuentemente los factores por defecto para las estimaciones de emisiones de N<sub>2</sub>O del ácido nítrico. Allí donde se utilicen los valores por defecto para estimar las emisiones provenientes de la producción de ácido nítrico, es una *buena práctica* clasificar las plantas por categorías según el tipo y emplear factores de generación de N<sub>2</sub>O apropiados.

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

**ECUACIÓN 3.6****EMISIONES DE N<sub>2</sub>O PROVENIENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO NÍTRICO – NIVEL 2**

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

Donde:

$E_{N_2O}$  = emisiones de N<sub>2</sub>O, kg.

$EF_i$  = factor de emisión de N<sub>2</sub>O para la tecnología de tipo  $i$ , kg. de N<sub>2</sub>O/toneladas de ácido nítrico producido

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

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

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

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

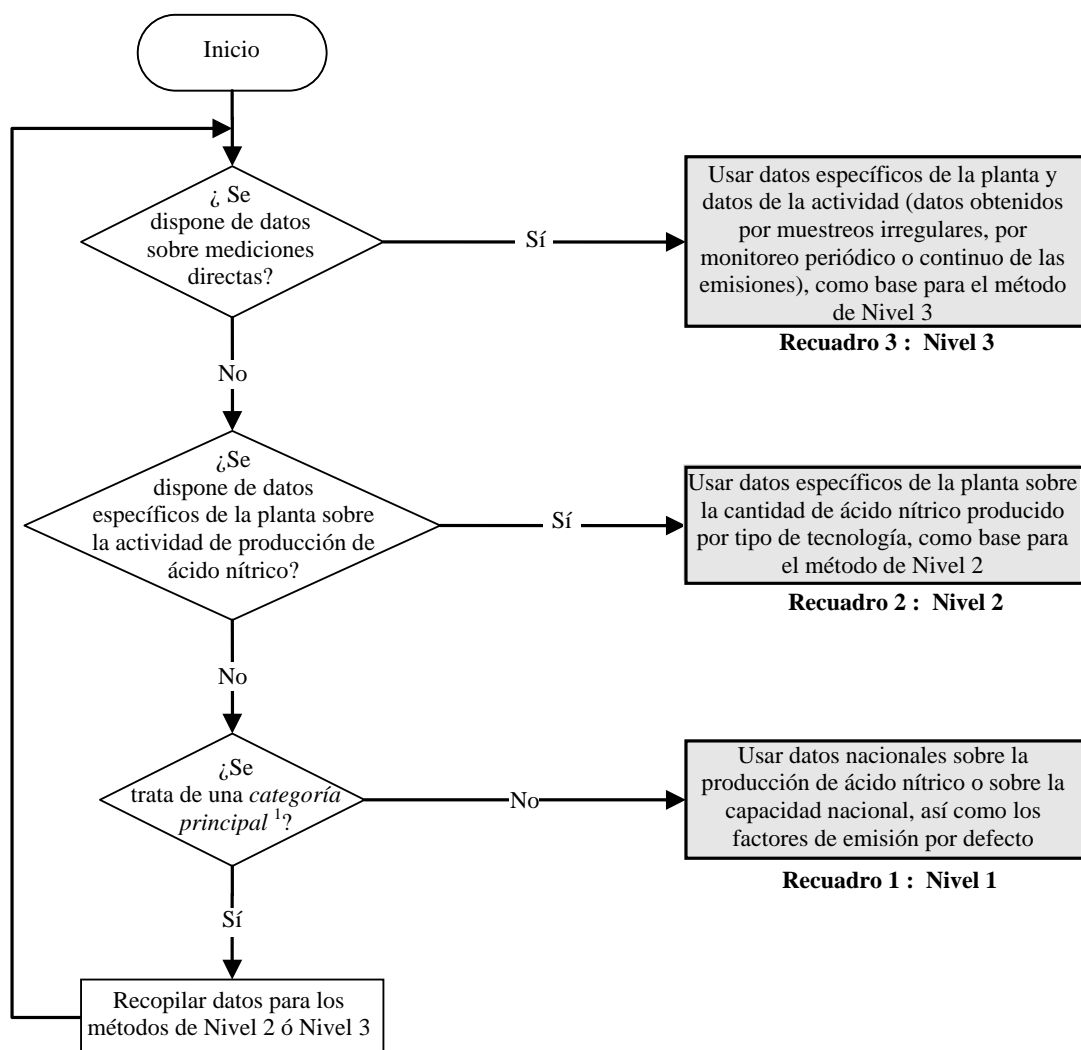
La ecuación básica para estimar las emisiones de N<sub>2</sub>O incluye términos adicionales que contemplan el probable uso futuro de tecnologías de reducción de N<sub>2</sub>O. El factor de destrucción de N<sub>2</sub>O debe multiplicarse por un factor de utilización del sistema de reducción con el fin de dar cuenta de toda inactividad de los equipos de reducción (vale decir, de los períodos en que los equipos no trabajan).

**MÉTODO DE NIVEL 3 – MEDICIÓN DIRECTA**

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

Como alternativa, en el método de Nivel 3 se utilizan los resultados del monitoreo continuo de las emisiones (MCE), aunque ha de notarse que es poco probable, debido a su alto costo, que la mayor parte de las plantas lo apliquen. Allí donde se aplique el MCE, pueden estimarse las emisiones basándose en la suma de las emisiones de N<sub>2</sub>O medidas y derivadas de la concentración de N<sub>2</sub>O en las emisiones monitoreadas para cada intervalo de monitoreo registrado.

**Figura 3.2** **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de ácido nítrico**



Nota:

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

### 3.3.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

#### MÉTODO DE NIVEL 1

Es una *buena práctica* emplear el factor de emisión más elevado presentado en el Cuadro 3.3, basándose en el tipo de tecnología y suponer que no hay reducción de las emisiones de N<sub>2</sub>O.

#### MÉTODO DE NIVEL 2

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

El Cuadro 3.3 incluye factores de emisión para el N<sub>2</sub>O e incertidumbres asociadas. Los factores enumerados en el Cuadro 3.3 para las plantas que utilizan la reducción catalítica no selectiva (NSCR, del inglés, *non-selective catalytic reduction*) (una tecnología de reducción de NO<sub>x</sub> que puede adaptarse para reducir también el N<sub>2</sub>O), integra ya el efecto de las medidas de reducción del N<sub>2</sub>O. Para usar estos factores, los compiladores del inventario deben verificar que la tecnología de reducción esté instalada en las plantas individuales y en funciones a lo largo del año.

## MÉTODO DE NIVEL 3

Las mediciones en las plantas proporcionan los datos más rigurosos para calcular las emisiones netas (esto es, los factores de generación y destrucción de N<sub>2</sub>O). El monitoreo de las emisiones de N<sub>2</sub>O de la producción de ácido nítrico es práctico pues éstas se producen en fuentes por puntos y hay un número limitado de plantas de producción. Dadas las tecnologías actualmente disponibles, la instrumentación de muestreo y monitoreo de los índices de emisión no limitan la precisión ni la exactitud de la medición global. Para evitar errores y alcanzar el nivel deseado de exactitud, en general bastan las frecuencias de muestreo y la oportunidad de las mediciones.

Como regla general, es una *buena práctica* efectuar muestreos y análisis cada vez que en una planta se implementa un cambio significativo en los procesos que pueda afectar el índice de emisión de N<sub>2</sub>O o, en su defecto, con la frecuencia suficiente para garantizar que las condiciones de operación permanezcan constantes. Además, se debe consultar anualmente con los operadores de la planta para determinar cuáles son las tecnologías de destrucción específicas que se emplean y confirmar su uso, dado que las tecnologías pueden cambiar a través del tiempo. La medición precisa del índice de emisiones y de las eficiencias de reducción requiere efectuar medidas tanto de la corriente de salida como de la corriente no controlada. Si sólo se dispone de datos sobre la corriente de salida, la *buena práctica* consiste en basar las emisiones en estos datos. En este caso, toda estimación disponible sobre la eficiencia de reducción debe ser provista sólo con fines informativos, pero no debe usarse para calcular las emisiones.

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

### 3.3.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

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

## MÉTODO DE NIVEL 1

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

## MÉTODO DE NIVEL 2

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

## MÉTODO DE NIVEL 3

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

### 3.3.2.4 EXHAUSTIVIDAD

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

Los sistemas NSCR y SCR, diseñados para reducir el  $\text{N}_2\text{O}$ , pueden generar emisiones adicionales de  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  e hidrocarburos ( $\text{CH}_4$  y COVDM). Estas emisiones dependerán del agente hidrocarburo reductor utilizado (metano ( $\text{CH}_4$ ), propano ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), propeno ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ), GPL). Las emisiones pueden estimarse basándose en la cantidad de agente reductor utilizado y en el carácter completo de la combustión. Se necesitará información al nivel de planta para permitir una estimación de las emisiones. Con el tiempo, y a medida que se disponga de más información, se podrán desarrollar factores por defecto, pero actualmente éstos no existen. En estas *Directrices* no se incluyen métodos para estimar estas emisiones; sin embargo, se alienta a los compiladores del inventario a investigar estas fuentes de emisiones y a desarrollar las metodologías adecuadas.

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

### 3.3.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Cada vez que se modifican los métodos de cálculo de emisiones, deben recalcularse las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  para todos los años (p. ej., si el compilador del inventario cambia de un uso de los valores por defecto a un uso de valores efectivos determinados al nivel de la planta). Si no se dispone de datos específicos de la planta para todos los años de la serie temporal, será necesario considerar cómo pueden utilizarse los datos actuales para recalcular las emisiones de los años anteriores. Es posible que se puedan aplicar factores de emisión actuales específicos de planta a los datos de producción de los años anteriores, siempre y cuando no hayan cambiado de manera sustancial operaciones de la planta. La repetición de los cálculos es necesaria para garantizar que cualquier cambio en las tendencias de emisión corresponda a un efecto real y no a un artificio derivado de los cambios en el procedimiento de cálculo. Es una *buena práctica* recalcular la serie temporal según la orientación propuesta en el Volumen 1, Capítulo 5.

### 3.3.3 Evaluación de incertidumbre

#### 3.3.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Las incertidumbres de los valores por defecto del Cuadro 3.3 son estimaciones basadas en el dictamen de expertos. En general, los factores de emisión por defecto para las sustancias gaseosas poseen incertidumbres superiores, pues los valores de masa de las sustancias gaseosas se ven influidos por las variaciones de temperatura y presión y porque los gases se pierden con mayor facilidad a través de las fugas. Los valores por defecto para la producción de ácido nítrico poseen un nivel relativamente alto de incertidumbre debido a dos razones. Primero, porque en la producción de ácido nítrico, puede generarse N<sub>2</sub>O en la sección del filtro catalítico del reactor como un producto derivado no intencional (Cook, 1999). Segundo, porque los gases de escape pueden o no ser tratados para el control de NO<sub>x</sub> y porque el sistema de reducción del NO<sub>x</sub> puede o no reducir (o puede incluso aumentar) la concentración de N<sub>2</sub>O del gas tratado<sup>1</sup>. Es una *buena práctica* obtener estimaciones de incertidumbre al nivel de la planta, las cuales deberían ser menores que los valores de incertidumbre asociados a los valores por defecto.

#### 3.3.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Allí donde los datos de la actividad hayan sido obtenidos de las plantas, las estimaciones de incertidumbre pueden obtenerse a través de los productores. Por lo general, los datos que se obtienen de los organismos nacionales de estadísticas no incluyen estimaciones de incertidumbre. Es una *buena práctica* consultar los organismos nacionales de estadísticas para obtener información sobre cualquier error de muestreo. Allí donde los organismos nacionales de estadísticas recopilan datos de la población de instalaciones de producción de ácido nítrico, no es de esperar que las incertidumbres en las estadísticas nacionales difieran de las incertidumbres establecidas a partir de consultas realizadas al nivel de las plantas. Cuando no se disponga de valores de incertidumbre provenientes de otras fuentes, se puede usar un valor por defecto de  $\pm 2$  por ciento. Para disminuir la incertidumbre, es una *buena práctica* garantizar que todos los datos de la actividad corresponden un 100 por ciento de HNO<sub>3</sub>.

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

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

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

#### Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos

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

Dado que las categorías de fuente del N<sub>2</sub>O industrial son relativamente pequeñas comparadas con otras fuentes antropogénicas o naturales, no es factible comparar las emisiones con las tendencias medidas en la concentración de N<sub>2</sub>O atmosférico.

#### Datos al nivel de planta

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

---

<sup>1</sup> En algunos casos los procesos diseñados para reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> pueden resultar en la generación de N<sub>2</sub>O adicional. Las concentraciones aumentadas de N<sub>2</sub>O debidas a la tecnología de reducción del NO<sub>x</sub> han sido medidas en varias centrales eléctricas que emplean la reacción de reducción no catalítica para el NO<sub>x</sub> (Cook, 1999). Se sabe que, al menos para una planta de ácido nítrico, el control del NO<sub>x</sub> produjo un aumento de las emisiones de N<sub>2</sub>O (Burtscher, 1999).



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

### Revisión de las mediciones directas de las emisiones

Si se dispone de mediciones de N<sub>2</sub>O al nivel de planta, los compiladores deben confirmar que se han utilizado métodos estándar reconocidos internacionalmente. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces se debe evaluar el uso de tales datos de emisiones. Además, deben reconsiderar las estimaciones de la incertidumbre a la luz de los resultados de la GC/CC.

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

### 3.3.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

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

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

Descripción del método utilizado;

Cantidad de plantas de ácido nítrico;

Factores de emisión;

Datos de la producción;

Capacidad de producción;

Cantidad de plantas que usan tecnologías de reducción;

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

Todas las demás hipótesis formuladas.

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

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

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

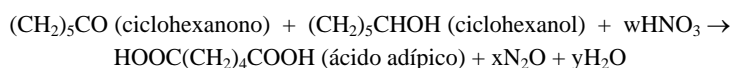
## 3.4 PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ADÍPICO

### 3.4.1 Introducción

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

### 3.4.2 Cuestiones metodológicas

El ácido adípico es un ácido dicarboxílico fabricado a partir de una mezcla de ciclohexanono/ciclohexanol que se oxida mediante ácido nítrico en presencia de un catalizador para formar ácido adípico. El óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) se genera como un producto derivado no intencional de la etapa de oxidación con ácido nítrico.



El ácido adípico, si no es reducido, constituye una fuente significativa del N<sub>2</sub>O atmosférico. Las emisiones de N<sub>2</sub>O dependen de la cantidad generada en el proceso de producción y de la cantidad destruida en todo proceso ulterior de reducción. En las plantas de ácido adípico puede haber reducción intencional de N<sub>2</sub>O mediante la instalación de equipos específicamente diseñados para destruirlo. De la producción de ácido adípico resultan también emisiones de CO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>x</sub>. Las emisiones provenientes del proceso de producción de ácido adípico varían sustancialmente según el nivel de control implementado.

### 3.4.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

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

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

#### MÉTODO DE NIVEL 1

Las emisiones se calculan de la siguiente manera:

**ECUACIÓN 3.7**  
**EMISIONES DE N<sub>2</sub>O DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ADÍPICO – NIVEL 1**

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

Donde:

E<sub>N<sub>2</sub>O</sub> = emisiones de N<sub>2</sub>O, kg.

EF = factor de emisión de N<sub>2</sub>O (por defecto), kg. de N<sub>2</sub>O/toneladas de ácido adípico producido

AAP = producción de ácido adípico, toneladas

Cuando se aplica el método de Nivel 1, es una *buena práctica* suponer que no hay reducción de las emisiones de N<sub>2</sub>O y utilizar el mayor factor de emisión por defecto del Cuadro 3.4, según el tipo de tecnología.

#### MÉTODO DE NIVEL 2

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

**ECUACIÓN 3.8**  
**EMISIONES DE N<sub>2</sub>O DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ADÍPICO – NIVEL 2**

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

Donde:

E<sub>N<sub>2</sub>O</sub> = emisiones de N<sub>2</sub>O, kg.

EF<sub>i</sub> = factor de emisión de N<sub>2</sub>O para la tecnología de tipo *i*, kg. de N<sub>2</sub>O/toneladas de ácido adípico producido

AAP<sub>i</sub> = producción de ácido adípico para la tecnología de tipo *i*, toneladas

DF<sub>j</sub> = factor de destrucción para la tecnología de reducción de tipo *j*, fracción

ASUF<sub>j</sub> = factor de utilización del sistema de reducción para la tecnología de reducción de tipo *j*, fracción

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

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

## MÉTODO DE NIVEL 3 – MEDICIÓN DIRECTA

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

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

### 3.4.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

#### MÉTODO DE NIVEL 1

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

#### MÉTODO DE NIVEL 2

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

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

#### MÉTODO DE NIVEL 3

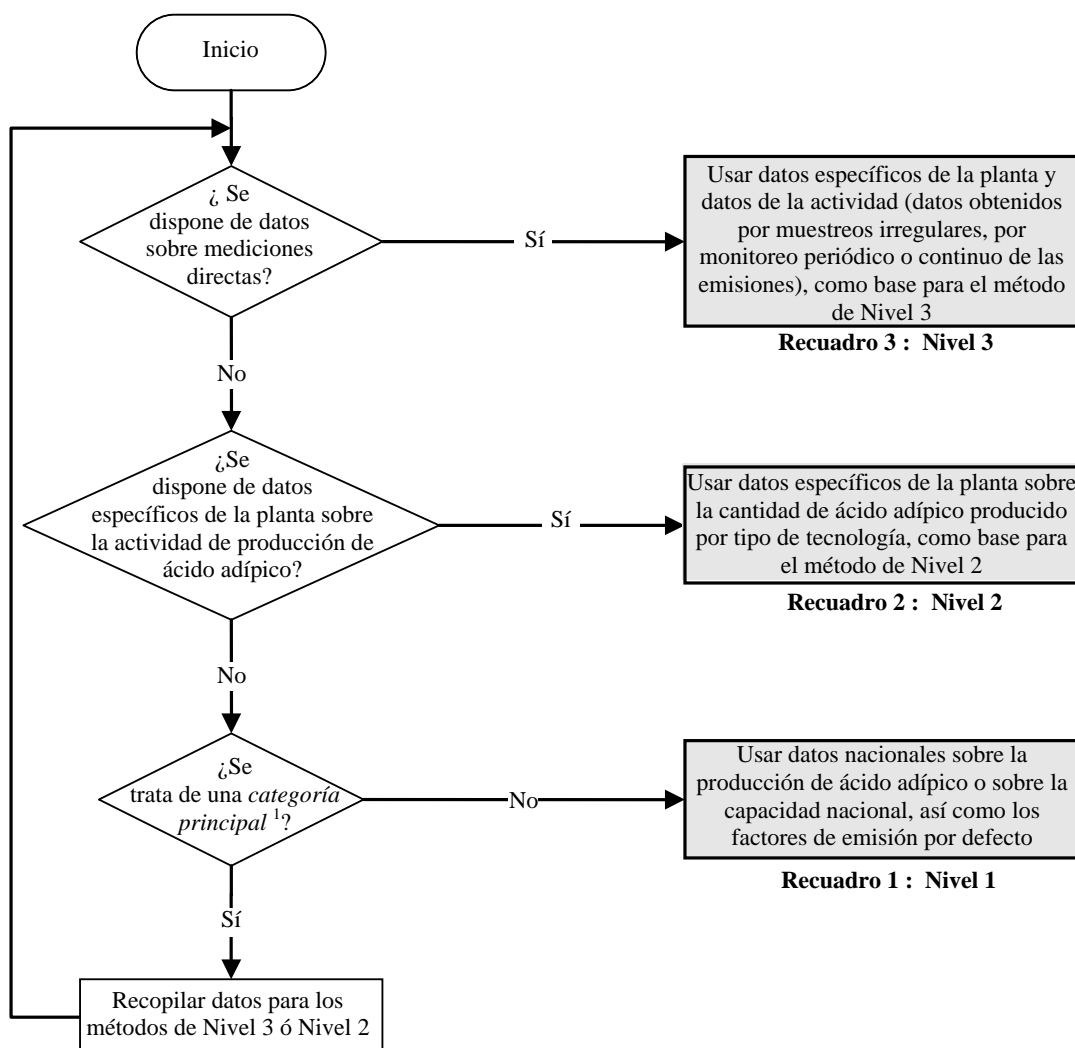
Para el método de Nivel 3 se requieren medidas realizadas en la planta. Si se utiliza el sistema de reducción de  $N_2O$ , las mediciones en las plantas proporcionan los datos más rigurosos para calcular las emisiones netas (esto es, los factores de generación y destrucción de  $N_2O$ ). El monitoreo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

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

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

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

**Figura 3.3**      **Árbol de decisión para estimar las emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de la producción de ácido adípico**



Nota:

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

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

Destrucción catalítica	92,5%	90-95% (basado en dictamen de expertos). Entre los fabricantes conocidos como utilizadores de esta tecnología, se incluyen: BASF (Scott, 1998), y DuPont (Reimer, 1999b).
Destrucción térmica	98,5%	98-99% (basado en dictamen de expertos). Entre los fabricantes conocidos como utilizadores de esta tecnología, se incluyen: Asahi, DuPont, Bayer, y Solutia (Scott, 1998).
Reciclado hacia el ácido nítrico	98,5%	98-99% (basado en dictamen de expertos). Entre los fabricantes conocidos como utilizadores de esta tecnología, se incluyen: Alsachemie (Scott, 1998).
Reciclado hacia la alimentación al proceso del ácido adípico	94%	90-98% (basado en dictamen de expertos). Solutia implementaba esta tecnología alrededor de 2002.
<b>Sistema de reducción</b>	<b>Factor de utilización<sup>d</sup></b>	<b>Estimación de la incertidumbre</b>
Destrucción catalítica	89%	80-98% (basado en dictamen de expertos) <sup>c</sup> .
Destrucción térmica	97%	95-99% (basado en dictamen de expertos) <sup>c</sup> .
Reciclado hacia el ácido nítrico	94%	90-98% (basado en dictamen de expertos) <sup>c</sup> .
Reciclado hacia el ácido adípico	89%	80-98% (basado en dictamen de expertos) <sup>c</sup> .
<p><sup>a</sup> Considerando un valor proporcionado por la <i>Japan Environment Agency</i> (Agencia medioambiental del Japón) (1995) (282 kg. de N<sub>2</sub>O/tonelada de ácido adípico); se estima que este fabricante utiliza la oxidación de ciclohexanol (alcohol) puro en vez de la mezcla de cetona-alcohol (Reimer <i>et al.</i>, 1999). Que se sepa, ésta es la única planta que utiliza este método.</p> <p><sup>b</sup> El factor de destrucción (que representa la eficiencia de reducción de la tecnología) debe multiplicarse por un factor de utilización del sistema.</p> <p><sup>c</sup> Nótese que estos valores por defecto se basan en un dictamen de expertos y no en datos suministrados por la industria sobre mediciones específicas de las plantas. Durante los primeros 1 a 5 años de implementación de la tecnología de reducción, el factor de utilización tiende a situarse en el extremo inferior del intervalo. Una menor utilización del equipo resulta típicamente de la necesidad de aprender a operar el sistema de reducción y de una mayor incidencia de los problemas de mantenimiento que ocurren durante la fase inicial. Después de unos 1 a 5 años, mejora la experiencia de operación y el factor de utilización tenderá a situarse en el extremo superior del intervalo.</p> <p>Fuente:  <sup>d</sup> Thiemans y Trogler (1991).  <sup>e</sup> Reimer (1999b).</p>		

### 3.4.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

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

#### MÉTODO DE NIVEL 1

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

#### MÉTODO DE NIVEL 2

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

#### MÉTODO DE NIVEL 3

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

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

### **3.4.2.4 EXHAUSTIVIDAD**

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

### **3.4.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE**

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

## **3.4.3 Evaluación de incertidumbre**

### **3.4.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN**

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos**

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

Dado que las categorías de fuente del N<sub>2</sub>O industrial son relativamente pequeñas comparadas con otras fuentes antropogénicas o naturales, no es factible comparar las emisiones con las medidas de las tendencias en la concentración de N<sub>2</sub>O atmosférico.

### **Datos al nivel de planta**

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

### **Revisión de las mediciones directas de emisiones**

Si se dispone de mediciones de N<sub>2</sub>O al nivel de planta, los compiladores del inventario deben confirmar que se han utilizado métodos estándar reconocidos internacionalmente. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces se debe evaluar el uso de tales datos de emisiones. Además, deben reconsiderar las estimaciones de la incertidumbre a la luz de los resultados de la GC/CC.

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

## **3.4.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN**

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

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

Descripción del método utilizado;

Número de plantas de ácido adípico;

Factores de emisión;

Datos de producción;

Capacidad de producción;

Número de plantas que usan tecnologías de reducción;

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

Todas las hipótesis adicionales formuladas.

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

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

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

## 3.5 PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA, GLIOXAL Y ÁCIDO GLIOXÍLICO

### 3.5.1 Introducción

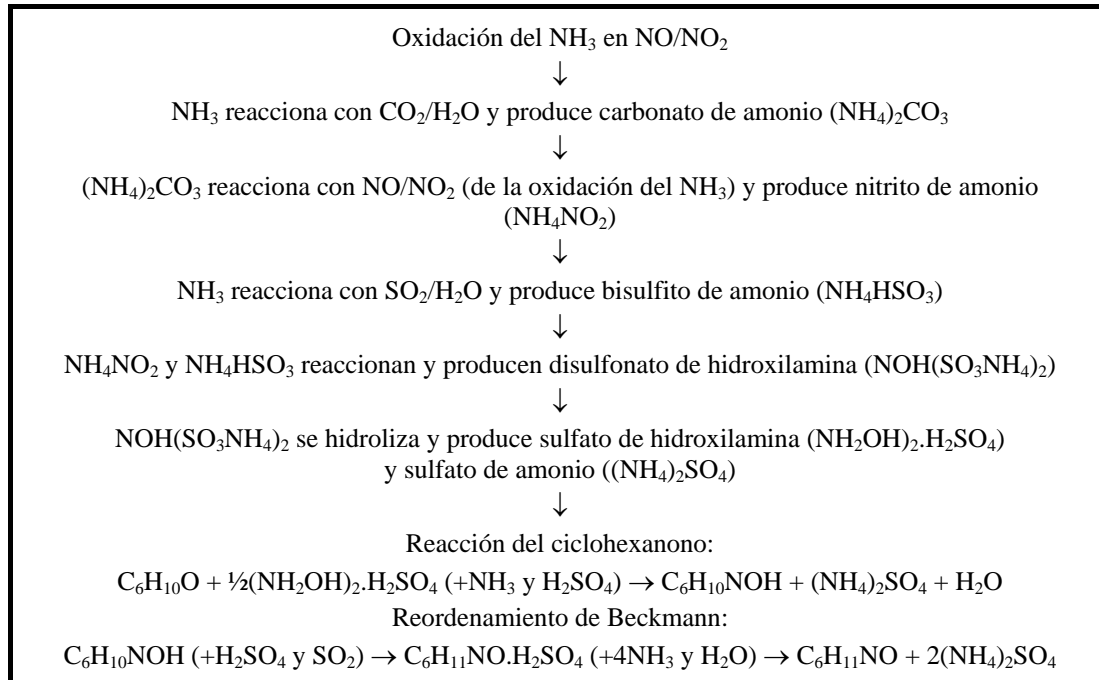
En esta sección se aborda la producción de tres productos químicos —caprolactama, glioxal y ácido glioxílico— que son importantes fuentes potenciales de emisiones de óxido nitroso en los países donde se producen estos productos químicos. La metodología para el caprolactama se discute en detalle y es adecuada para aplicarla a la estimación de las emisiones provenientes del glioxal y del ácido glioxílico. En la Sección 3.5.3 se bosquejan los procesos de producción para el glioxal y el ácido glioxílico que generan emisiones de N<sub>2</sub>O. Los valores por defecto para los factores de generación, los factores de destrucción y los factores de emisión que se proporcionan están basados en informaciones provenientes de Clariant (Francia) (Babusiaux, 2005).

### 3.5.2 Caprolactama

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

#### 3.5.2.1 CUESTIONES METODOLÓGICAS

Donde se produce caprolactama a partir del benceno en el proceso principal, el benceno es hidrogenado en ciclohexano, el cual se oxida luego para producir ciclohexanono (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O). La vía clásica (proceso Raschig) y las ecuaciones de las reacciones básicas para la producción de ciclohexanono son (Reimschuessel, 1977; p.83; Lowenheim y Moran, 1975; p. 201):



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



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

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

## ELECCIÓN DEL MÉTODO

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

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

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

### Método de nivel 1

Las emisiones se calculan de la manera siguiente:

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

Donde:

$E_{N_2O}$  = emisiones de  $N_2O$ , kg.

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

CP = producción de caprolactama, toneladas

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

### Método de nivel 2

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

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

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

**ECUACIÓN 3.10**  
**EMISIONES DE N<sub>2</sub>O DE LA PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA – NIVEL 2**

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

Donde:

$E_{N_2O}$  = emisiones de N<sub>2</sub>O, kg.

$EF_i$  = factor de emisión de N<sub>2</sub>O para la tecnología de tipo  $i$ , kg. de N<sub>2</sub>O/toneladas de caprolactama producido

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

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

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

La ecuación fundamental para estimar las emisiones de N<sub>2</sub>O incluye términos adicionales que contemplan el probable uso futuro de tecnologías de reducción de N<sub>2</sub>O. El factor de destrucción de N<sub>2</sub>O debe multiplicarse por un factor de utilización del sistema de reducción con el fin de dar cuenta de todo ocio de los equipos de reducción (vale decir, de los períodos en que los equipos no están en funciones).

Allí donde no se disponga de información al nivel de planta, la *buena práctica* proporciona factores de generación y destrucción de N<sub>2</sub>O por defecto, como se muestra en el Cuadro 3.5, Factores por defecto para la producción de caprolactama, basados en los tipos de planta clasificadas por antigüedad. Para alcanzar el grado máximo de exactitud, la *buena práctica* consiste en aplicar esta ecuación al nivel de planta utilizando los factores de generación y destrucción de N<sub>2</sub>O desarrollados a partir de datos de mediciones específicos de la planta. En este caso, el total nacional es igual a la suma de los totales de las plantas.

### EL Método de nivel 3 – medición directa

En el método de Nivel 3 se utilizan datos de producción al nivel de planta y factores de emisión al nivel de planta obtenidos de la medición directa de las emisiones. Éstas pueden derivarse del muestreo irregular de emisiones de N<sub>2</sub>O o del monitoreo periódico de emisiones de N<sub>2</sub>O efectuados durante uno o más periodos(s) que refleje(n) la pauta acostumbrada de operación de la planta. Las emisiones pueden derivarse mediante la Ecuación 3.10.

Como alternativa, en el método de Nivel 3 se utilizan los resultados del monitoreo continuo de las emisiones (CEM), aunque se observa que es poco probable, debido a su alto costo, que la mayor parte de las plantas apliquen el CEM. Allí donde se emplee el CEM, las emisiones pueden estimarse basándose en la suma de las emisiones de N<sub>2</sub>O derivadas de la concentración de N<sub>2</sub>O en las emisiones monitoreadas para cada intervalo de monitoreo registrado.

## ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

### Método de nivel 1

Es una *buena práctica* usar el factor de emisión por defecto presentado en el Cuadro 3.5 y suponer que no hay reducción de emisiones de N<sub>2</sub>O.

### Método de nivel 2

Si no se dispone de factores al nivel de plantas, es una *buena práctica* emplear factores por defecto. Para el método de Nivel 2 se usa un factor por defecto. Por lo general, los valores por defecto representan valores medios o medianos de conjuntos de datos (determinados mediante análisis de expertos). Se desconoce en qué medida éstos representan los índices de emisión de una planta específica. Esto es particularmente cierto para la producción de caprolactama, en que el valor está basado en el de las plantas de ácido nítrico de alta presión. Los factores por defecto del Cuadro 3.5 deben utilizarse sólo en aquellos casos en que los datos específicos de las plantas no estén disponibles.

### Método de nivel 3

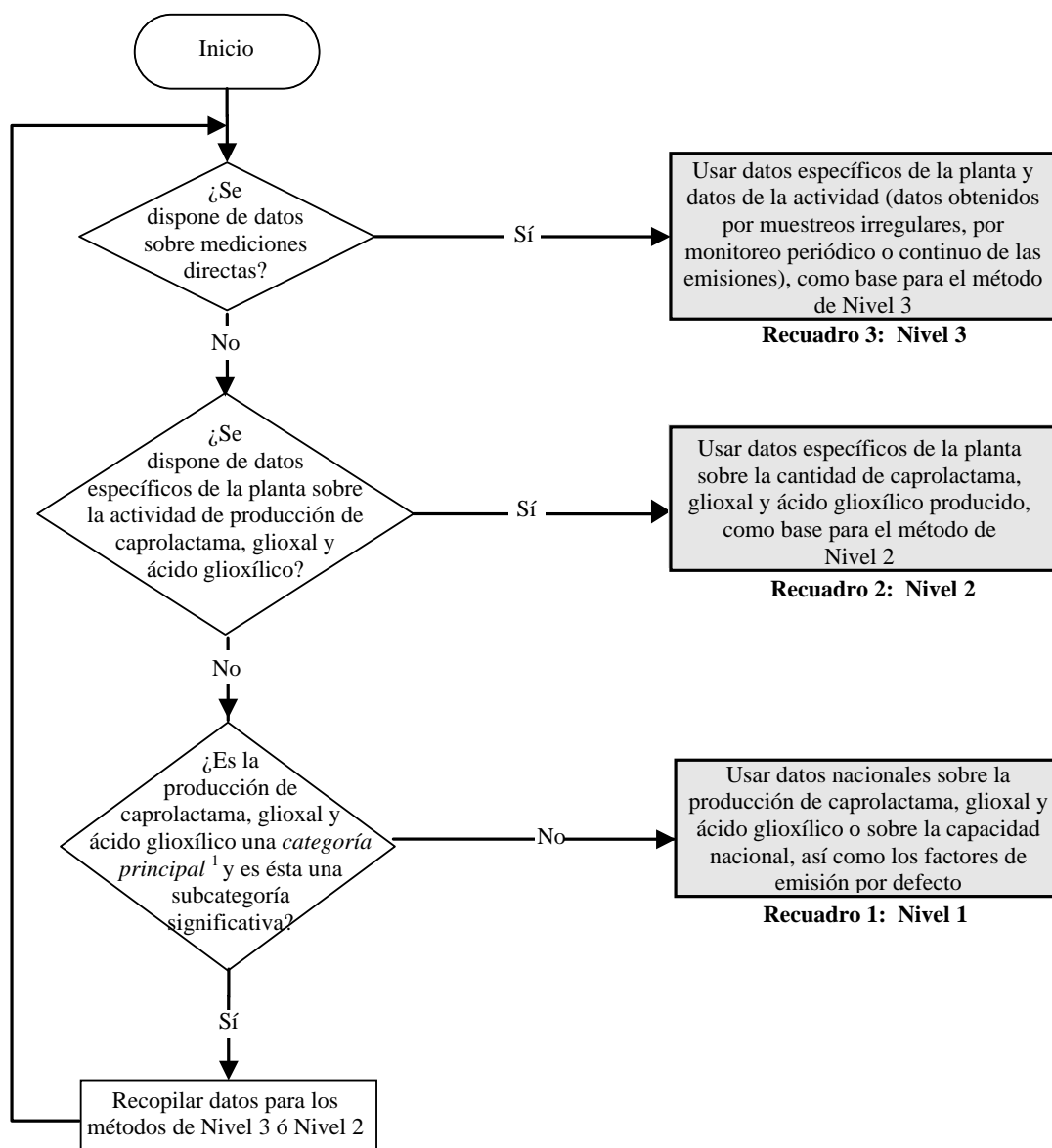
Las mediciones en las plantas proporcionan los datos más rigurosos para calcular las emisiones netas (esto es, los factores de generación y destrucción de N<sub>2</sub>O). El monitoreo de las emisiones de N<sub>2</sub>O de la producción de caprolactama es práctico pues éstas se producen en fuentes puntuales y hay un número limitado de plantas de producción. Dada la tecnología disponible en la actualidad, los instrumentos de muestreo y monitoreo de los índices de emisión no limitan la precisión ni el grado de exactitud de la medición total. Para evitar errores y

alcanzar el nivel deseado de exactitud, en general bastan las frecuencias de muestreo y la oportunidad de las mediciones.

Como regla general, es una *buena práctica* efectuar muestreos y análisis cada vez que en una planta se implemente un cambio significativo que pueda afectar el índice de emisión de N<sub>2</sub>O o, en su defecto, con la frecuencia suficiente para garantizar que las condiciones de operación permanecen constantes. Además, se debe consultar anualmente con los operadores de la planta para determinar cuáles son las tecnologías de destrucción específicas que se emplean y confirmar su uso, dado que las tecnologías pueden cambiar a través del tiempo. La medición precisa del índice de emisiones y de las eficiencias de reducción requiere efectuar medidas, tanto de la corriente de salida como de la corriente no controlada. Si sólo se dispone de datos sobre la corriente de salida, la *buena práctica* consiste en basar las emisiones en estos datos. En este caso, toda estimación disponible sobre la eficiencia de reducción debe ser provista sólo a los fines informativos, pero no debe usarse para calcular las emisiones.

<b>CUADRO 3.5</b>		
<b>FACTOR POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA</b>		
<b>Proceso de producción</b>	<b>Factor de emisión de N<sub>2</sub>O (kg. de N<sub>2</sub>O/ tonelada de caprolactama)</b>	<b>Incertidumbre</b>
Raschig	9,0 <sup>a</sup>	± 40%
<sup>a</sup> Basado en las plantas de alta presión para la producción de ácido nítrico. Fuente: Factores por defecto para la Producción de ácido nítrico (Véase Cuadro 3.3 en este capítulo.)		

**Figura 3.4** **Árbol de decisión para estimar las emisiones de N<sub>2</sub>O provenientes de la producción de caprolactama, glioxal o ácido glioxílico**



Nota:

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

## ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

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

### Método de nivel 1

El método de Nivel 2 requiere la recopilación de datos nacionales sobre la producción de caprolactama. Si no se dispone de datos de la actividad de nivel nacional, se puede utilizar la información sobre la capacidad de producción. Es una *buena práctica* multiplicar el total de la capacidad de producción nacional por un factor de utilización de la capacidad de  $80 \pm 20$  por ciento (es decir, un intervalo entre 60 y 100 por ciento).

### Método de nivel 2

El método de Nivel 2 requiere datos de producción al nivel de plantas desagregados por edad de la planta. Si se dispone de información adicional sobre el tipo de tecnología y sobre la tecnología de reducción, es una *buena práctica* recopilar esta información y desagregar los datos de producción según la información obtenida. Es una *buena práctica* reunir datos de la actividad (producción) con un nivel de detalle coherente con el de cualquiera de los datos de generación y destrucción. Allí donde se utilicen factores de emisión al nivel de planta, la *buena práctica* consiste en recopilar los datos de producción al nivel de la planta. Los datos típicos de producción al

nivel de plantas son exactos dentro de un margen del  $\pm 2$  por ciento debido al costo económico que significa obtener información más exacta.

### Método de nivel 3

Cuando las estimaciones se derivan utilizando datos de muestreo irregular o periódico de las emisiones, para el método de Nivel 3 se requieren datos al nivel de planta desagregados por tipo de tecnología. Es una *buena práctica* recopilar datos de la actividad (producción) con un nivel de detalle coherente con el de cualquiera de los datos de generación y destrucción. Aunque, donde la estimación se basa en el CEM los datos de producción no se usan para estimar las emisiones, éstos deben recopilarse y declararse para garantizar que los cambios en las variables que influyen sobre las emisiones pueden monitorearse en el transcurso del tiempo. Los datos típicos de producción al nivel de plantas son exactos dentro de un margen del  $\pm 2$  por ciento debido al costo económico que significa obtener información más exacta.

### EXHAUSTIVIDAD

La cobertura completa requiere que se contabilice para todas las plantas y emisiones de todos los gases de efecto invernadero directos. Además del  $N_2O$ , puede haber emisiones de  $CO_2$ ,  $NO_x$ , COVDM y  $SO_2$  no relacionadas con la combustión. Para incluir las emisiones de los gases de efecto invernadero indirectos ( $NO_x$ , COVDM y  $SO_2$ ), véanse las orientaciones que se dan en el Capítulo 7 del Volumen 1: Orientación general y generación de informes. Se necesitará de información al nivel de plantas para permitir la estimación de las emisiones. Con el tiempo y a medida de que se disponga de más información, se podrán desarrollar más valores por defecto.

En general, en un país habrá pocas plantas de ácido nítrico y se sugiere que las emisiones se calculen a partir de datos específicos de las plantas existentes.

### DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

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

## 3.5.2.2 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

### INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Las incertidumbres del valor por defecto dado en el Cuadro 3.5 es una estimación basada en los valores por defecto para las plantas de ácido nítrico. En general, los factores de emisión por defecto para las sustancias gaseosas poseen incertidumbres superiores, pues los valores de masa de las sustancias gaseosas se ven influidos por las variaciones de temperatura y presión y porque los gases se pierden con mayor facilidad a través de las fugas. Los valores por defecto para la producción de caprolactama poseen un nivel relativamente alto de incertidumbre debido a limitada información disponible. Es una *buena práctica* obtener estimaciones de incertidumbre al nivel de la planta, las cuales deberían ser menores que los valores de incertidumbre asociados a los valores por defecto.

### INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Allí donde los datos de la actividad hayan sido obtenidos de las plantas, las estimaciones de incertidumbre pueden obtenerse a través de los productores. Los datos que se obtienen de los organismos nacionales de estadísticas, generalmente no incluyen estimaciones de incertidumbre. Es una *buena práctica* consultar los organismos nacionales de estadísticas para obtener información sobre cualquier error de muestreo. Allí donde los organismos nacionales de estadísticas recopilan datos de la población de instalaciones de producción de caprolactama, no es de esperar que las incertidumbres en las estadísticas nacionales difieran de las incertidumbres establecidas a partir de consultas realizadas al nivel de las plantas. Cuando no se disponga de valores de incertidumbre provenientes de otras fuentes, se puede usar un valor por defecto de  $\pm 2$  por ciento.

### **3.5.2.3 GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD (GC/CC), GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN**

#### **GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)**

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

#### **Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos**

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

Dado que las categorías de fuente del N<sub>2</sub>O industrial son relativamente pequeñas comparadas con otras fuentes antropogénicas o naturales, no es factible comparar las emisiones con las medidas de las tendencias en la concentración de N<sub>2</sub>O atmosférico.

#### **Datos al nivel de planta**

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

#### **Revisión de las mediciones directas de emisiones**

Si se dispone de mediciones de N<sub>2</sub>O al nivel de planta, los compiladores del inventario deben confirmar que se han utilizado métodos estándar reconocidos internacionalmente. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces deben evaluar el uso de tales datos de emisiones. Además, deben reconsiderar las estimaciones de la incertidumbre a la luz de los resultados de la GC/CC.

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

### **GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN**

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

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

Descripción del método utilizado;

Número de plantas de caprolactama;

Factores de emisión;

Datos de producción;

Capacidad de producción;

Número de plantas que usan tecnologías de reducción;

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

Todas las demás hipótesis formuladas.

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

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

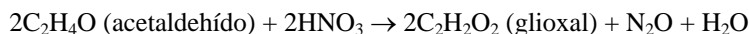
No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias sobre las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones resulten transparentes y que las etapas de su cálculo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

### 3.5.3 Producción de caprolactama, glioxal y ácido glioxílico

El glioxal (etanediol) (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) se produce a partir de la oxidación del acetaldehído (etanal) (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O) con ácido nítrico concentrado (HNO<sub>3</sub>). El glioxal puede producirse también mediante la oxidación catalítica del etilén glicol (etanediol) (CH<sub>2</sub>OHCH<sub>2</sub>OH). El glioxal se usa como agente reticulante para las resinas de vinil acetato y/o acrílicas, desinfectante, agente endurecedor de gelatinas, agente de acabado de textiles (algodón a planchado permanente, tejidos de rayón), aditivos hidrófugos (recubrimientos de papel) (Ashford, 1994; p.454).

El ácido glioxílico se produce por oxidación del glioxal mediante ácido nítrico. El ácido glioxílico se usa para producir aromas sintéticos, productos agroquímicos y productos farmacéuticos intermedios (Babusiaux, 2005; p.1).

La ecuación básica de la reacción para la producción de glioxal a partir del acetaldehído es:



La relación estequiométrica indica que una reacción completa resultará en 0,543 toneladas N<sub>2</sub>O de por tonelada de glioxal. En condiciones de producción comercial, el rendimiento de N<sub>2</sub>O por tonelada de glioxal es aproximadamente de 0,52 toneladas (Babusiaux, 2005; p.1).

La producción de ácido glioxílico es un proceso por lotes en el cual el ácido nítrico se reduce a NO y N<sub>2</sub>O con recuperación del NO en el proceso como HNO<sub>3</sub>. El N<sub>2</sub>O aparece en el proceso de producción a través de una reacción secundaria en la cual el glioxal se convierte en ácido oxálico (COOH)<sub>2</sub>.

En el cuadro 3.6 se muestran los factores por defecto para la producción de glioxal y ácido glioxílico. Las emisiones pueden estimarse mediante el mismo método descrito anteriormente para la caprolactama. Para emplear factores de destrucción por defecto, los compiladores del inventario deben verificar que la tecnología de reducción esté instalada y en funciones en las plantas individuales a lo largo del año.

CUADRO 3.6 FACTORES POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE GLIOXAL ÁCIDO GLIOXÍLICO				
Producto	Factor de generación de N <sub>2</sub> O (toneladas de N <sub>2</sub> O/tonelada)	Factor de destrucción de N <sub>2</sub> O (%)	Factor de emisión de N <sub>2</sub> O (toneladas de N <sub>2</sub> O/tonelada)	Incertidumbre (%)
Glioxal	0,52	80	0,10	±10
Ácido glioxílico	0,10	80	0,02	±10

Fuente: Babusiaux (2005)

## 3.6 PRODUCCIÓN DE CARBURO

### 3.6.1 Introducción

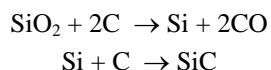
Existen emisiones de gas de efecto invernadero que están asociadas a la producción de carburo de silicio (SiC) y carburo de calcio (CaC<sub>2</sub>). La producción de carburo puede traducirse en la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). El carburo de silicio es un abrasivo artificial importante. Se produce a partir de la arena de sílice o de cuarzo y del coque de petróleo. El carburo de calcio se utiliza en la producción de acetileno, en la fabricación de cianamida (históricamente, un uso menor) y como agente reductor en los hornos de arco eléctrico para el acero. Se fabrica a partir de dos materias primas que contienen carbono: El carbonato de calcio (piedra caliza) y el coque de petróleo.

El uso de materias primas que contienen carbono en el proceso de producción se traduce en emisiones de CO<sub>2</sub> y de CO. En el coque de petróleo, la presencia de azufre (S) y de componentes volátiles que contienen hidrógeno puede provocar la formación y emisión de CH<sub>4</sub> y SO<sub>2</sub> hacia la atmósfera.

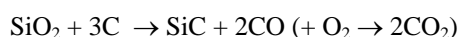
### 3.6.2 Cuestiones metodológicas

#### CO<sub>2</sub> Y CH<sub>4</sub> DE LA PRODUCCIÓN DE CARBURO DE SILICIO

El carburo de silicio se produce a partir de la arena de sílice o cuarzo y del coque de petróleo, el cual es utilizado como una fuente de carbono, según las reacciones (Austin, 1984; p. 262):



La fórmula que describe la reacción global se da a continuación, pero en la práctica, ésta no se desarrolla en las proporciones estequiométricas indicadas:



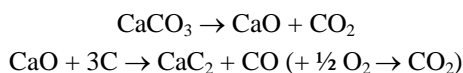
En el proceso de producción, se mezcla la arena de sílice con carbono en una proporción molar de 1:3. Algo de carbono, cercano a un 35 por ciento, queda contenido del producto y el resto se convierte en CO<sub>2</sub> con exceso de oxígeno y es liberado en la atmósfera como un producto derivado del proceso.

El coque de petróleo utilizado en el proceso puede contener componentes volátiles que formarán metano. Una parte del metano se escapará hacia la atmósfera, sobre todo durante la fase de arranque.

#### CO<sub>2</sub> DE LA PRODUCCIÓN DE CARBURO DE CALCIO

El carburo de calcio (CaC<sub>2</sub>) se fabrica por calentamiento del carbonato de calcio (piedra caliza) seguido de una reducción del CaO con carbono, p. ej., coque de petróleo. Ambas etapas conducen a emisiones de CO<sub>2</sub>. Cerca de un 67 por ciento del carbono del coque de petróleo estará contenido en el producto.

Las reacciones básicas son:



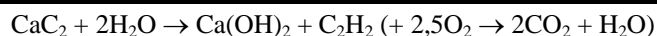
En la mayoría de las plantas, el gas CO se utiliza como fuente de energía.

#### RECUADRO 3.4 CÓMPUTO DOBLE

Para evitar cómputo doble, la emisión de CO<sub>2</sub> de la combustión del gas CO generado en el proceso de producción de CaC<sub>2</sub> deberá ser contabilizada en el **Sector PIUP** y no debe ser incluida en el **Sector Energía**. El coque de petróleo utilizado en el proceso de producción debe deducirse del **Sector Energía** en calidad de uso no energético del coque de petróleo.

La aplicación más importante del carburo de calcio es la producción de acetileno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) por reacción del CaC<sub>2</sub> con el agua. Un uso sustancial del acetileno son las aplicaciones relacionadas con la soldadura. El acetileno se usa también en la síntesis química del acetaldehído, el ácido acético, el anhídrido acético y como alimentación al proceso de fabricación de «negro de acetileno», una forma del negro de humo. A menudo, el acetileno no se produce en la misma planta que produce el CaC<sub>2</sub> y esto debe tomarse en cuenta al aplicar los métodos de nivel superior para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> a partir del uso del CaC<sub>2</sub>. El uso del acetileno en la síntesis química y en la producción de negro de acetileno se traduce en carbono contenido de los productos, lo cual reduce el total de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el uso del CaC<sub>2</sub>. El acetileno puede producirse a partir de la oxidación parcial del gas natural así como del CaC<sub>2</sub>. El método para dar cuenta del acetileno en estos usos se describe en la Sección 3.9 de este volumen.

La producción y uso del acetileno para las aplicaciones en soldadura se expresa por la reacción:



Allí donde se utilice el acetileno para aplicaciones de soldadura, las emisiones se pueden derivar de la cantidad de CaC<sub>2</sub> utilizado para la producción del acetileno, bajo la hipótesis de que el acetileno habrá sido utilizado durante un período relativamente corto posterior a la producción.



**RECUADRO 3.5**  
**ATRIBUCIÓN DE LAS EMISIONES DE LA PRODUCCIÓN DE CaO**

El CaO (cal) puede producirse internamente o en otra planta que la planta de carburo. En ambos casos, las emisiones provenientes de la etapa del CaO deben declararse como emisiones provenientes de la producción de cal (Sección 2.3 en este volumen) y sólo las emisiones provenientes de la reacción del CaO con el coque de petróleo y del uso del producto en la producción de acetileno para aplicaciones de soldadura han de declararse como emisiones provenientes del carburo de calcio.

### 3.6.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Los métodos se clasifican según la cantidad de datos que estén disponibles al nivel de la planta. El método de Nivel 2 está basado en valores por defecto y en las estadísticas nacionales. El método de Nivel 2 está basado en datos de producción al nivel de plantas y en el uso del CaC<sub>2</sub> en la producción de acetileno para aplicaciones de soldadura. El método de Nivel 3 está basado en datos sobre las entradas de coque de petróleo al nivel de plantas (incluido el factor de contenido de carbono (CCF) y el factor de oxidación del carbono (COF), cuando esté disponible; en su defecto, pueden utilizarse valores específicos del país para el Sector Energía), sobre el uso del en la producción de acetileno para aplicaciones de soldadura y sobre los factores de emisión al nivel de plantas, donde sea pertinente.

Tanto el Nivel 2 como el Nivel 3 requieren datos de la actividad al nivel de la planta. La elección del método para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> depende de las circunstancias nacionales, como se muestra en la Figura 3.5.

## CO<sub>2</sub> Y CH<sub>4</sub> DE LA PRODUCCIÓN DE CARBURO DE SILICIO

### Método de nivel 1

Las emisiones provenientes de la producción de carburo pueden estimarse de los datos de la actividad (AD) sobre el consumo de coque de petróleo o de la producción de carburo, del carburo de calcio utilizado en la producción de acetileno para aplicaciones de soldadura y de factores de emisión por defecto. Allí donde se utilicen datos de la actividad sobre el consumo de coque de petróleo, los factores CCF y COF del coque de petróleo pueden obtenerse en el Volumen 2, Capítulo 1 y el resultado debe multiplicarse por 44/12 para convertir el C en CO<sub>2</sub>. La ecuación básica para estimar las emisiones es:

**ECUACIÓN 3.11**  
**EMISIONES DE LA PRODUCCIÓN DE CARBURO**

$$E_{CO_2} = AD \cdot EF$$

Donde:

$E_{CO_2}$  = emisiones de CO<sub>2</sub>, toneladas

AD = datos de la actividad sobre el consumo de coque de petróleo o de la producción de carburo, toneladas de materia prima utilizada o toneladas de carburo producido

EF = factor de emisión de CO<sub>2</sub>.

Se dan las dos posibilidades siguientes:

Cuando se utiliza la producción de carburo como dato de la actividad, EF debe corresponder al promedio de las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de salida para la producción de carburo, toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de producción de carburo.

Cuando se utiliza el consumo de coque de petróleo como dato de la actividad, EF debe corresponder al factor CCF (factor de contenido de carbono) multiplicado por 44/12 y ajustado para dar cuenta del C contenido de el producto, toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de material utilizado.

El factor de ajuste para el SiC = 0,35 ⇒ Factor de emisión = 0,65 • CCF • COF • 44/12;

El factor de ajuste para el CaC<sub>2</sub> = 0,67 ⇒ Factor de emisión = 0,33 • CCF • COF • 44/12.

La ecuación 3.11 puede emplearse también para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub>, donde EF es el factor de emisión apropiado para el CH<sub>4</sub>.

Para estimar las emisiones provenientes del  $\text{CaC}_2$  se necesita incluir las emisiones de  $\text{CO}_2$  que se atribuyen indirectamente al  $\text{CaC}_2$  que se emplea en la producción de acetileno. La Ecuación 3.11 puede aplicarse allí donde AD corresponde a la cantidad de  $\text{CaC}_2$  utilizado y EF es el factor de emisión asociado a este uso. Al usar el método de Nivel 1, es una *buena práctica* suponer que todo el  $\text{CaC}_2$  utilizado en la producción de acetileno da lugar a emisiones de  $\text{CO}_2$ .

### **Método de nivel 2**

En el método de Nivel 2 se emplean datos sobre la producción de carburo al nivel de la planta y sobre el contenido de C del producto. En el caso del  $\text{CaC}_2$ , se requiere también de los datos sobre el uso del  $\text{CaC}_2$  en la producción de acetileno utilizado para aplicaciones de soldadura. Las emisiones provenientes de su producción y uso pueden estimarse con la Ecuación 3.11 empleando factores de emisión por defecto. Allí donde el acetileno se produce en otro lugar a partir del  $\text{CaC}_2$  y no se conoce la cantidad de  $\text{CaC}_2$  utilizado para este propósito, es una *buena práctica* documentar este hecho.

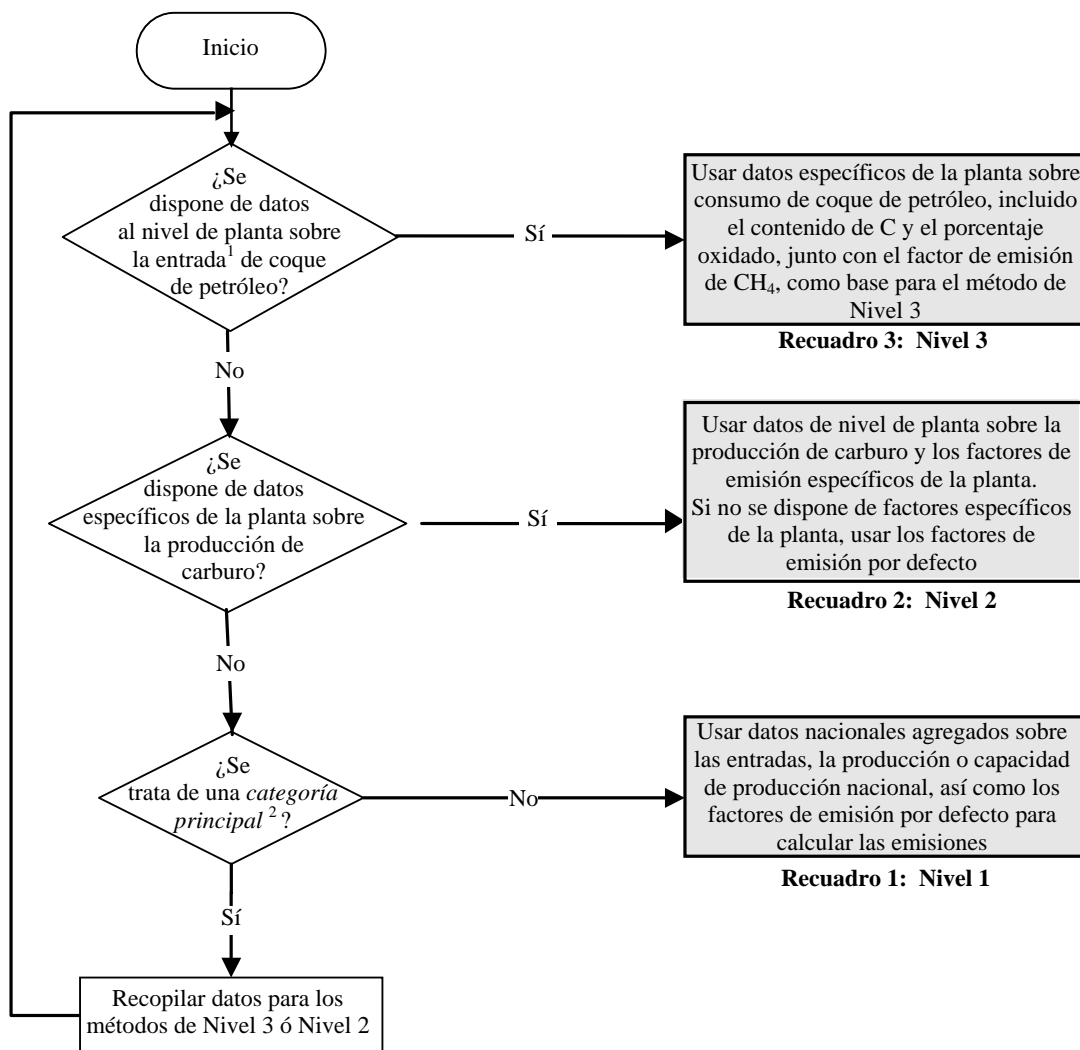
### **Método de nivel 3**

Para el método de Nivel 3 se requieren datos sobre las entradas de coque de petróleo al de plantas junto con los factores CCF y COF, cuando estén disponibles; en su defecto, para el CCF y el COF se puede utilizar los valores del Sector Energía específicos del país. También se requieren datos al nivel de plantas sobre el contenido de C del producto.

En el caso del  $\text{CaC}_2$ , se requieren datos sobre el uso del  $\text{CaC}_2$  en la producción de acetileno utilizado para aplicaciones de soldadura, así como los factores de emisión al nivel de plantas. Allí donde el acetileno se produce en otro lugar a partir del  $\text{CaC}_2$  y no se conoce la cantidad de  $\text{CaC}_2$  utilizado para este propósito, es una *buena práctica* documentar este hecho. Además, se necesita recopilar factores de emisión al nivel de plantas para el  $\text{CH}_4$ . La Ecuación 3.11 puede aplicarse para estimar las emisiones para cada planta y el total nacional de emisiones es la suma de estas estimaciones.

Los datos de producción no se usan en estos cálculos, pero deben recopilarse para los efectos de la generación de informes. Allí donde los datos de producción de acetileno no puedan desagregarse por uso, se alienta a los compiladores del inventario nacional que usan el método de Nivel 3 a dar cuenta de todas las emisiones en el punto donde éstas se generan; por ejemplo, las emisiones provenientes del uso del acetileno para aplicaciones de soldadura deben contabilizarse en el lugar de uso del acetileno, empleando un factor de emisión específico del país. Un método similar debe aplicarse a los otros usos del acetileno.

**Figura 3.5**      **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> provenientes de la producción de carburo**



**Notas**

1. «datos de entrada» significa: datos sobre el consumo de materias primas
2. Para una discusión sobre las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de las categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

### 3.6.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

#### Método de nivel 1

En el método de Nivel 1 se utilizan valores por defecto para el CCF, COF y el C contenido de el producto, cuando para la estimación se emplea el coque de petróleo. Por otro lado, cuando se emplea la producción de carburo, en el método se utilizan factores de emisión que se muestran en los Cuadros 3.7 y 3.8, según lo que sea pertinente. En ambos casos se aplica el factor de uso de CaC<sub>2</sub> por defecto.

#### Método de nivel 2

Al igual que en el método de Nivel 1, en el de Nivel 2 se utilizan valores por defecto para el factor de emisión, excepto para la cantidad de C contenido de el producto en cuyo caso se requieren datos al nivel de plantas.

#### Método de nivel 3

Para el método de Nivel 3 se requieren datos al nivel de plantas para todas las variables, excepto para los factores CCF y COF del coque de petróleo, en cuyo caso se pueden utilizar valores del Sector Energía específicos del país. Esto incluye los factores de emisión al nivel de plantas para la cal, si ésta se produce internamente, y los

factores de emisión al nivel de plantas para el  $\text{CaC}_2$  utilizado en la producción de acetileno destinado a aplicaciones de soldadura.

### **CO<sub>2</sub> de la producción de carburo de calcio**

En el proceso de producción del carburo de silicio se necesita más carbono que lo calculado para una reacción estequiométrica. El exceso de carbono se oxida durante el proceso y muy poco queda como ceniza (Raanes, 1991). En las plantas noruegas se dan valores por defecto típicos de 97 por ciento para el contenido de carbono del coque de petróleo y de 35 por ciento para el carbono contenido del producto. Esto implica un factor de emisión típico de 2,3 toneladas de  $\text{CO}_2$ /tonelada de coque de petróleo utilizado (IPCC, 1997), o de 2,62 toneladas de  $\text{CO}_2$ /tonelada de carburo producido.

### **CH<sub>4</sub> de la producción de carburo de silicio**

Mediciones realizadas en las planta noruegas sugieren factores de 10,2 kg. de  $\text{CH}_4$ /tonelada de coque de petróleo o de 11,6 kg. de  $\text{CH}_4$ /tonelada de carburo producido (IPCC, 1997).

<b>CUADRO 3.7</b> <b>FACTORES POR DEFECTO PARA LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> Y CH<sub>4</sub> DE LA PRODUCCIÓN DE CARBURO DE SILICIO</b>				
<b>Proceso</b>	<b>Factor de emisión (toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de materia prima utilizada)</b>	<b>Factor de emisión (kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de materia prima utilizada)</b>	<b>Factor de emisión (toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de carburo producido)</b>	<b>Factor de emisión (kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de carburo producido)</b>
Producción de carburo de silicio	2,30	10,2	2,62	11,6
Fuente: <i>Revised 1996 IPCC National Greenhouse Gas Inventories</i> , Vol.3, p.2.21 (IPCC, 1997)				

### **CO<sub>2</sub> de la producción de carburo de calcio**

Los factores de emisión pueden derivarse del uso de materias primas (coque de petróleo) y de la producción de carburo utilizando un método de equilibrio de masas. La piedra caliza utilizada en la fabricación de carburo contiene alrededor de un 98 por ciento de y se contabiliza en otros rubros. 1 750 kg. de piedra caliza (o 950 kg. de  $\text{CaO}$ ), 640 kg. de petróleo de coque y 20 kg. de electrodos de carbono son necesarios para producir 1 tonelada de carburo.

Los factores de emisión para estimar las emisiones se incluyen en el Cuadro 3.8.

<b>CUADRO 3.8</b> <b>FACTORES DE EMISIÓN PARA LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN Y USO DEL CARBURO DE CALCIO</b>		
<b>Proceso</b>	<b>Factor de emisión por defecto (toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de materia prima utilizada)</b>	<b>Factor de emisión por defecto (toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de carburo producido)</b>
Uso del coque de petróleo	1,70	1,090
Uso del producto	no pertinente	1,100
Fuente: <i>Revised 1996 IPCC National Greenhouse Gas Inventories</i> , Vol.3, p.2.22 (IPCC, 1997)		

Para el coque de petróleo, el factor de emisión teórico calculado a partir de la relación estequiométrica de la reacción es menor que el que se muestra en el cuadro. El exceso de carbono se oxida en el proceso y los factores de emisión sugeridos fueron calculados a partir del uso efectivo de materias primas en una planta noruega. El factor de emisión para el uso del acetileno se calcula del contenido de carbono efectivo (no estequiométrico) del carburo.

Las emisiones de  $\text{CO}_2$  pueden disminuirse mediante la utilización de gas al producir dicianodiamida a partir del carburo (Olsen, 1991).

## **3.6.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD**

### **Método de nivel 1**

Para el método de Nivel 1 se requieren datos sobre el coque de petróleo utilizado en la producción de carburo o sobre la producción nacional de carburo. Estos datos pueden obtenerse a través de las estadísticas nacionales o de las organizaciones industriales o comerciales que representan a los productores de carburo y de coque de petróleo.

**Método de nivel 2**

Los datos de la actividad requeridos para el método de Nivel 2 incluyen los datos al nivel de plantas sobre el carburo producido y sobre la cantidad de  $\text{CaC}_2$  utilizada en la producción de acetileno para las aplicaciones de soldadura.

**Método de nivel 3**

Para el método de Nivel 3 se requieren datos de la actividad al nivel de plantas para todas las variables, incluida la entrada de coque de petróleo y del  $\text{CaC}_2$  utilizado para producir acetileno destinado a las aplicaciones de soldadura.

Para el método de Nivel 2 se requiere recopilar datos de la actividad de las plantas o compañías individuales. En el caso del Nivel 1, debe utilizarse los datos de la actividad suministrados por las estadísticas nacionales o por las organizaciones industriales y comerciales asociadas con la producción de carburo y coque de petróleo. Sin embargo, si se dispone de suficientes datos específicos de plantas o de compañías, éstos pueden utilizarse para estimar las emisiones.

**3.6.2.4 EXHAUSTIVIDAD**

Las plantas de producción de carburo son generalmente bien conocidas en cada país. En consecuencia, los datos de producción de carburo pueden estar disponibles en las bases de datos de las estadísticas nacionales, o bien, pueden recopilarse si no se han publicado en las estadísticas nacionales. Los datos sobre el consumo de coque de petróleo pueden obtenerse a través de las plantas de producción de carburo o de los productores o comerciantes de coque. Los datos de la actividad y la estimación de emisiones resultan complicados por el hecho de que el acetileno producido a partir del  $\text{CaC}_2$  no es producido necesariamente en la misma planta que produce el  $\text{CaC}_2$ . Esto debe ser tomado en cuenta al emplear los métodos de nivel superior, con emisiones que se generan a partir del uso de  $\text{CaC}_2$  contabilizado en el lugar donde ocurre la emisión. Por ejemplo, en el caso del acetileno utilizado en aplicaciones de soldadura, allí donde el acetileno se produzca en un lugar diferente, las emisiones provenientes del  $\text{CaC}_2$  deben contabilizarse en el lugar de producción del acetileno, bajo la hipótesis de que éste será utilizado en un corto plazo posterior a la producción.

La aplicación de los métodos de Nivel 2 y 3 conlleva la estimación de emisiones y la recopilación de datos al nivel de planta «de abajo hacia arriba» (planta por planta). En aquellos países donde sólo un subconjunto de las plantas declara datos para el método de Nivel 3 o donde se da una transición del Nivel 2 hacia el Nivel 3, puede que no sea posible declarar emisiones utilizando el Nivel 3 para todas las instalaciones durante el período de transición. Allí donde los datos necesarios para el método de Nivel 3 no estén disponibles para todas las plantas, se puede usar el Nivel 2 para las plantas restantes. Igualmente, allí donde los datos necesarios para el método de Nivel 2 sean declarados sólo por un subconjunto de las plantas o donde se dé una transición del Nivel 1 hacia el Nivel 2, es posible que se pueda determinar la parte de la producción representada por las plantas que no declaran y usar esta información para estimar las emisiones restantes utilizando el Nivel 1, de modo que se garantice la exhaustividad durante el período de transición.

**3.6.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE**

Es una *buena práctica* estimar las emisiones provenientes de la producción de carburo empleando el mismo método en cada año de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método más riguroso aplicable a todos los años de la serie temporal, es un *buena práctica* recalcular estos vacíos según las orientaciones entregadas en el Volumen 1, Capítulo 5.

**3.6.3 Evaluación de incertidumbre****3.6.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN**

En general, los factores de emisión de  $\text{CO}_2$  por defecto son relativamente inciertos pues el proceso de producción de carburo a escala industrial difiere de la estequiometría de las reacciones químicas teóricas. La incertidumbre en los factores de emisión de  $\text{CH}_4$  se debe a posibles variaciones en los compuestos volátiles que contienen hidrógeno en las materias primas (coque de petróleo) que emplean los diversos fabricantes y a posibles variaciones en los parámetros del proceso de producción. Cuando no se disponga de valores de incertidumbre provenientes de otras fuentes, se puede usar un valor por defecto de  $\pm 10$  por ciento.

Es una *buena práctica* obtener estimaciones de incertidumbre al nivel de la planta, las cuales deberían ser menores que los valores de incertidumbre asociados a los valores por defecto.

### 3.6.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Allí donde los datos de la actividad hayan sido obtenidos de las plantas, las estimaciones de incertidumbre pueden obtenerse a través de los productores. En esto se incluyen las estimaciones para el coque de petróleo y la piedra caliza utilizados para los datos sobre la producción de carburo. Los datos que se obtienen de los organismos nacionales de estadísticas, generalmente no incluyen estimaciones de incertidumbre. Es una *buena práctica* consultar los organismos nacionales de estadísticas para obtener información sobre cualquier error de muestreo. Allí donde los organismos nacionales de estadísticas recopilan datos de la población de instalaciones de producción de carburo, no es de esperar que las incertidumbres en las estadísticas nacionales difieran de las incertidumbres establecidas a partir de consultas realizadas al nivel de las plantas. Cuando no se disponga de valores de incertidumbre provenientes de otras fuentes, se puede usar un valor por defecto de  $\pm 5$  por ciento.

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

#### 3.6.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

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

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

#### **Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos**

Si se utiliza el método de Nivel 2 (específico de plantas), los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones de emisiones con las estimaciones calculadas mediante los datos de la actividad al nivel nacional (Nivel 1). Se alienta también a los compiladores del inventario a comparar las estimaciones de emisiones calculadas introduciendo diferentes cambios a los mismos métodos.

Los resultados de tales comparaciones deben registrarse con fines de documentación interna, incluidas las explicaciones sobre cualquier discrepancia.

#### **Revisión de los factores de emisión**

Los compiladores del inventario deben comparar los factores de emisión agregados nacionalmente con los factores por defecto del IPPC con el fin de determinar si el factor nacional es razonable en relación con el factor por defecto del IPPC. El mismo procedimiento (vale decir, comparar con los valores IPCC por defecto) debe aplicarse a los factores de emisión específicos de plantas. Las diferencias entre los factores nacionales y los factores por defecto deben explicarse y documentarse, en particular si son representativos de circunstancias diferentes.

#### **Verificación de los datos específicos de plantas**

Para los datos específicos de plantas, los compiladores del inventario deben revisar las incoherencias entre plantas para establecer si éstas reflejan la presencia de errores, de técnicas de medida diferentes, o bien resultan de diferencias reales en las emisiones, en las condiciones operacionales o en las tecnologías.

Los compiladores del inventario deben garantizar que los factores de emisión y los datos de la actividad se determinan de acuerdo con los métodos de medida internacionalmente reconocidos y probados. Si se recopilan las mediciones de las emisiones provenientes de las plantas individuales, los compiladores del inventario deben garantizar que dichas mediciones hayan sido efectuadas según normas nacionales o internacionales reconocidas. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces la utilización de estas emisiones o datos de la actividad debe evaluarse cuidadosamente, deben reconsiderarse las estimaciones de incertidumbre y deben documentarse las calificaciones.

#### **Revisión de expertos**

En un proceso de revisión, se alienta a los compiladores del inventario a incluir a las principales organizaciones industriales y comerciales asociadas con los productores de carburo y coque de petróleo. Este proceso debe comenzar durante la etapa inicial del desarrollo del inventario de modo que contribuya al desarrollo y revisión de los métodos y a la adquisición de los datos.

Para esta categoría de fuente puede ser útil recurrir también a revisores independientes, particularmente en relación con la recopilación inicial de datos, la transcripción, los cálculos y la documentación.

### 3.6.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

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

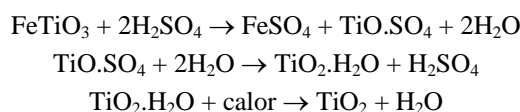
## 3.7 PRODUCCIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO

### 3.7.1 Introducción

El dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) es uno de los pigmentos blancos más utilizados. Su principal utilización se da en la fabricación de pinturas, seguido por la fabricación de papel, plásticos, gomas, cerámicas, tejidos, revestimientos de pisos, tinta de imprenta y otros usos varios (Austin, 1984; Lowenheim y Moran, 1975). Dado que la producción de TiO<sub>2</sub> bordea los 4 millones de toneladas y que la vía del cloruro se usa de manera sustancial, las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) tienden a ser significativas y necesitan ser contabilizadas en los inventarios de gases de efecto invernadero. La producción mundial por la vía del cloruro ha aumentado alrededor de unas 8 veces desde 1970, mientras que la producción por la vía del sulfato ha permanecido relativamente estable (Kirk-Othmer, 1999; p. 2017). Nótese que en la discusión, los productos del óxido de titanio se denominan genéricamente dióxido de titanio, salvo cuando es necesario hacer una distinción entre productos. La discusión es aplicable a la escoria de titanio, al rutilo sintético (>90 por ciento de TiO<sub>2</sub>) y al TiO<sub>2</sub> rutilo.

### 3.7.2 Cuestiones metodológicas

El TiO<sub>2</sub> se produce como TiO<sub>2</sub> anatasa y como TiO<sub>2</sub> rutilo. Las formas del TiO<sub>2</sub> difieren en términos de la estructura cristalina y de la pureza del producto final. El TiO<sub>2</sub> anatasa puede producirse por digestión de la ilmenita (esencialmente titanato ferroso (FeO.TiO<sub>2</sub>)) mediante ácido sulfúrico, o proceso del sulfato), o bien a partir de la escoria de titanio. Las ecuaciones básicas de la reacción de la vía de la digestión ácida son (Lowenheim y Moran, 1975; p. 814):

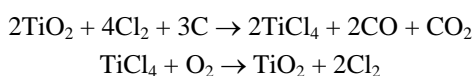


El proceso de la vía del sulfato no genera emisiones significativas de gases de efecto invernadero.

Existen procesos de producción de TiO<sub>2</sub> en uso que conllevan un proceso de emisiones de gases de efecto invernadero: la producción de escoria de titanio en hornos eléctricos, la producción de rutilo sintético mediante el proceso de Becher y la producción de TiO<sub>2</sub> rutilo por la vía del cloruro.

La escoria de titanio utilizada para la producción de TiO<sub>2</sub> anatasa se produce fundiendo la ilmenita en un horno eléctrico. Allí donde se utilice la escoria de titanio, la etapa de la reacción de reducción ácida no es necesaria pues el fundido en horno eléctrico reduce el hierro férrico contenido como impureza en la ilmenita. El TiO<sub>2</sub> rutilo puede producirse por procesamiento ulterior del TiO<sub>2</sub> anatasa. Las emisiones del proceso provienen de la sustancia reductora utilizada en el proceso.

Allí donde se use el proceso de Becher, la producción de rutilo sintético puede dar lugar a emisiones de CO<sub>2</sub>. Este proceso reduce el óxido de hierro contenido de la ilmenita a hierro metálico y luego se reoxida en óxido de hierro. En el proceso se separa el dióxido de titanio como rutilo sintético entre un 91 por ciento y un 93 por ciento de pureza (Chemlink, 1997). El carbón negro se usa como agente reductor y las emisiones de CO<sub>2</sub> resultantes deben ser tratadas como emisiones provenientes de procesos industriales. La vía principal de producción del TiO<sub>2</sub> rutilo es la vía del cloruro. El TiO<sub>2</sub> rutilo se produce a través de la cloración carbotérmica del mineral de rutilo o del rutilo sintético para producir tetracloruro de titanio (TiCl<sub>4</sub>) y de la oxidación de los vapores de TiCl<sub>4</sub> en TiO<sub>2</sub> según las reacciones siguientes (Kirk-Othmer, 1999; p.2017):



Basándose en la estequiometría y suponiendo una conversión completa de la entrada de C en CO<sub>2</sub> a través de la conversión subsiguiente del CO en exceso de aire, el factor de emisión de CO<sub>2</sub> no puede ser inferior a 0,826 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de TiO<sub>2</sub> (basándose en una proporción de 1,5 moles de CO<sub>2</sub> por mol de TiO<sub>2</sub>).

### 3.7.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

El método general para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> a partir de la producción de dióxido de titanio es el mismo, independientemente del producto, pues las emisiones resultan de la cantidad de agente reductor o de entrada carbotérmica. La elección de un método dependerá de las circunstancias nacionales, tal como se indica en el árbol de decisión del Figura 3.6. Las emisiones de dióxido de carbono del proceso de producción del TiO<sub>2</sub> tienen lugar principalmente como consecuencia de la oxidación de los ánodos de carbono en la producción de la escoria de titanio, de la oxidación del carbón en el proceso de producción del rutilo sintético por el proceso de Becher y de la oxidación del coque de petróleo en el proceso de producción de TiO<sub>2</sub> rutilo por la vía del cloruro.

Los métodos se clasifican según la cantidad de datos que estén disponibles al nivel de la planta.

#### MÉTODO DE NIVEL 1

En el método de Nivel 1 se usa un factor de emisión por defecto por unidad de salida multiplicado por los datos de la actividad obtenidos de las estadísticas nacionales. La ecuación básica para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> es:

<p><b>ECUACIÓN 3.12</b></p> <p><b>EMISIONES DE CO<sub>2</sub> A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORIA DE TITANIO, RUTILO SINTÉTICO Y TiO<sub>2</sub> RUTILO – NIVEL 1</b></p> $E_{CO_2} = \sum_i (AD_i \cdot EF_i)$
--

Donde:

$E_{CO_2}$  = emisiones de CO<sub>2</sub>, toneladas

$AD_i$  = producción de escoria de titanio, rutilo sintético o TiO<sub>2</sub> rutilo (producto  $i$ ), toneladas

$EF_i$  = emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de producción de escoria de titanio, rutilo sintético o TiO<sub>2</sub> rutilo (producto  $i$ ), toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de producto

#### MÉTODO DE NIVEL 2

Las emisiones pueden calcularse a partir del consumo de agente reductor para el electrodo de carbono (escoria de titanio), de carbón (rutilo sintético) en el proceso de Becher y de entrada carbotérmica (coque de petróleo) para el TiO<sub>2</sub> rutilo del proceso de la vía cloruro. En el método de Nivel 2, para derivar las emisiones se emplean datos al nivel de plantas sobre las cantidades de agente reductor y de entrada carbotérmica, de la manera siguiente:

<p><b>ECUACIÓN 3.13</b></p> <p><b>EMISIONES DE CO<sub>2</sub> A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORIA DE TITANIO, RUTILO SINTÉTICO Y TiO<sub>2</sub> RUTILO – NIVEL 2</b></p> $E_{CO_2} = \sum_i (AD_i \cdot CCF_i \cdot COF_i \cdot 44/12)$
---

Donde:

$E_{CO_2}$  = emisiones de CO<sub>2</sub>, kg.

$AD_i$  = cantidad de agente reductor o de entrada carbotérmica  $i$ , GJ

$CCF_i$  = factor del contenido de carbono del agente reductor o de entrada carbotérmica  $i$ , kg. C/GJ

$COF_i$  = factor de oxidación del carbono del agente reductor o de la entrada carbotérmica  $i$ , fracción

Para alcanzar el grado máximo de exactitud, la *buena práctica* consiste en aplicar la Ecuación 3.13 al nivel de planta obteniendo todos los datos de entrada de los operadores de la planta.

Allí donde no se disponga de información al nivel de planta, la *buena práctica* proporciona factores de emisión de CO<sub>2</sub> por defecto para el rutilo sintético y el rutilo TiO<sub>2</sub>, como se muestra en el Cuadro 3.9. No se dispone de un factor por defecto para la escoria de titanio debido al reducido número de plantas.



**RECUADRO 3.6**  
**CÓMPUTO DOBLE**

Para evitar el cómputo doble, las cantidades de carbono de electrodos, de carbón utilizado como agente reductor y de coque de petróleo empleado en el proceso de la vía del cloruro deben sustraerse de la cantidad declarada como usos energéticos y no energéticos en el **Sector Energía**.

### 3.7.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

#### MÉTODO DE NIVEL 1

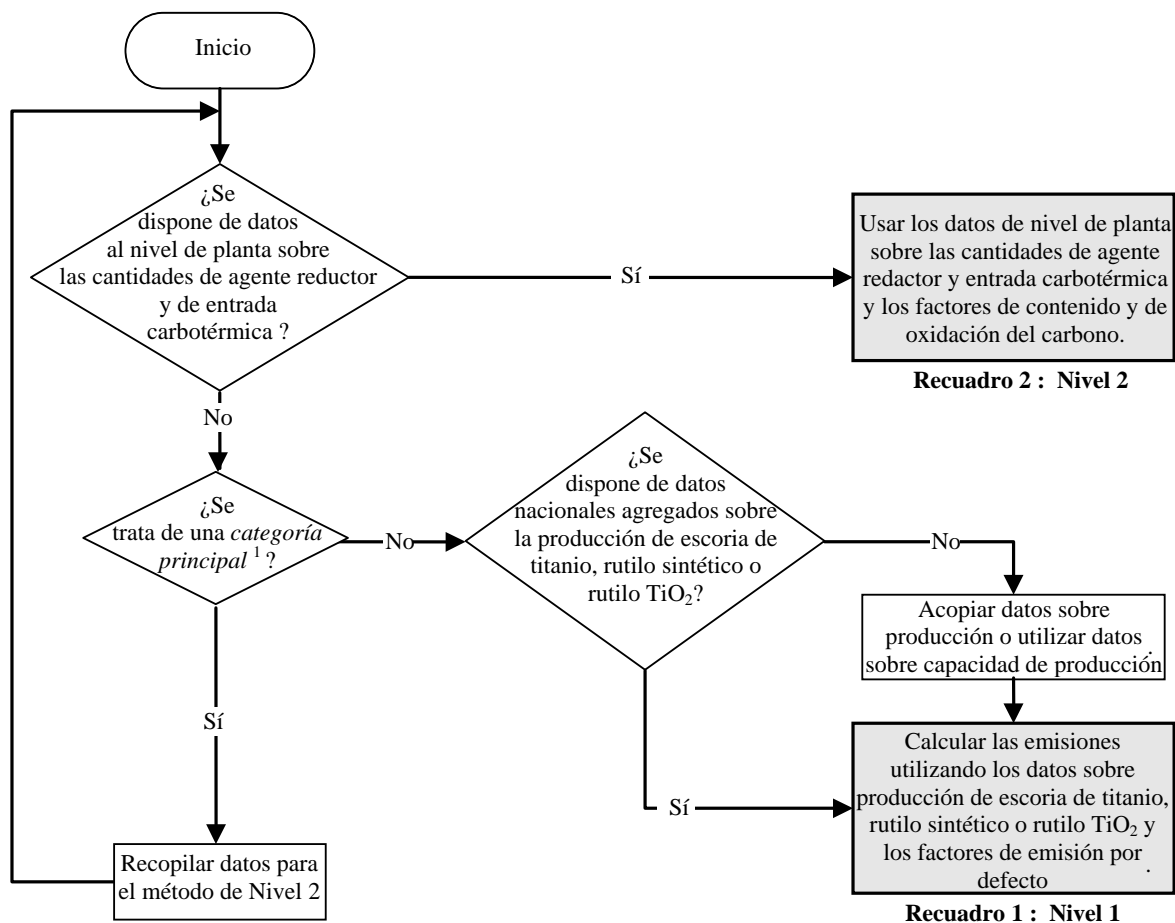
Si no se dispone de información al nivel de plantas, es una buena práctica emplear factores por defecto. Por lo general, estos factores por defecto representan valores medios o medianos de conjuntos de datos (determinados mediante análisis de expertos). Se desconoce en qué medida éstos representan los índices de emisión de una planta específica. Los factores por defecto por proceso de producción se presentan en el Cuadro 3.9 y deben ser usados sólo en aquellos casos en que los datos específicos de las plantas no estén disponibles. Los factores por defecto se basan en estimaciones sobre el agente reductor o la entrada carbotérmica por unidad de salida y se supone una conversión completa del contenido de C en CO<sub>2</sub>.

#### MÉTODO DE NIVEL 2

Los datos al nivel de plantas proporcionan los datos más rigurosos para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de dióxido de titanio. Para el método de Nivel 3, el contenido de C en el agente reductor y en las entradas carbotérmicas, junto con la proporción de C oxidado, constituyen las variables principales del factor de emisión para derivar la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido.

<p align="center"><b>CUADRO 3.9</b> <b>FACTORES POR DEFECTO PARA LA PRODUCCIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO</b> <b>(TONELADAS DE CO<sub>2</sub> POR TONELADA DE PRODUCTO)</b></p>	
<b>Producto</b>	<b>Factor de emisión e incertidumbre respectiva (toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de producto)</b>
Escoria de titanio <sup>1</sup>	No disponible
Rutilo sintético <sup>2</sup>	1,43 (± 10%)
Rutilo dióxido de titanio (vía del cloruro) <sup>3</sup>	1,34 (± 15%)
Fuente:	
<sup>1</sup> No se dispone de un factor de emisión por defecto pues existen sólo dos plantas, Richards Bay en Sudáfrica y Allard Lake en Canadá, y porque los datos son confidenciales. Para los respectivos países, es una <i>buena práctica</i> incluir las estimaciones de emisiones específicas de planta en sus inventarios sobre gases de efecto invernadero.	
<sup>2</sup> Derivado de datos proporcionados por Iluka Resources.	
<sup>3</sup> Adaptado de EIPPCB (2004a; p.99).	

**Figura 3.6**      **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de dióxido de titanio**



Nota

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

### 3.7.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Es una *buena práctica* recopilar, datos de la actividad con un nivel de detalle que permita el empleo de los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3. Al aplicar los métodos, es esencial hacer una clara distinción entre los productos para evitar multiplicar los datos de la actividad por un factor de emisión equivocado.

#### MÉTODO DE NIVEL 1

Para el método de Nivel 1 se requieren datos sobre la producción nacional de escoria de titanio, rutilo sintético y rutilo TiO<sub>2</sub>. Si no se dispone de datos de la actividad al nivel nacional, se puede utilizar la información sobre la capacidad de producción con estimaciones de emisiones realizadas utilizando un factor de emisión por defecto. . Es una *buena práctica* multiplicar el total de la capacidad de producción nacional por un factor de utilización de la capacidad de 80 ± 10 por ciento (es decir, un intervalo entre 70 y 90 por ciento).

#### MÉTODO DE NIVEL 2

Los datos de la actividad al nivel de planta requeridos por el método de Nivel 2 son: el total de agente reductor utilizado, el total de electrodos de carbono consumidos y el total de entrada carbotérmica. Es una *buena práctica* recopilar también datos sobre el total de la producción de escoria de titanio, el total de la producción de rutilo sintético y el total de la producción de rutilo TiO<sub>2</sub>. La recopilación de datos de producción permite hacer comparaciones de las entradas por unidad de salida en el transcurso del tiempo y proporciona una base sólida para garantizar la coherencia de la serie temporal. Allí donde se utilicen factores de emisión al nivel de planta, la *buena práctica* consiste en recopilar datos sobre la producción al nivel de planta. Se supone que los datos típicos de producción al nivel de plantas son exactos dentro de un ±2 por ciento debido al costo económico que significa

obtener información más exacta. Si no se dispone de datos de la actividad de nivel nacional, se pueden utilizar datos compilados nacionalmente.

### 3.7.2.4 EXHAUSTIVIDAD

La cobertura completa de la producción de dióxido de titanio requiere la contabilización de todas las emisiones provenientes de todas las fuentes, incluidos la escoria de titanio, el rutilo sintético y el rutilo TiO<sub>2</sub>. Las emisiones de CO<sub>2</sub> constituyen las principales emisiones provenientes del proceso. Con el fin de incluir las emisiones de NO<sub>x</sub>, CO y SO<sub>2</sub> para esta categoría de fuente, véanse las orientaciones proporcionadas en el Capítulo 7 del Volumen 1: Orientación general y generación de informes.

### 3.7.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Cada vez que se cambien los métodos de cálculo, las emisiones de N<sub>2</sub>O deben recalcularse para todos los años (p. ej., si el compilador del inventario cambia de un uso de valores por defecto a un uso de valores efectivos determinados al nivel de la planta). Si no se dispone de datos específicos de la planta para todos los años de la serie temporal, será necesario considerar cómo pueden utilizarse los datos actuales para recalcular las emisiones de los años anteriores. Es posible que se puedan aplicar factores de emisión específicos de planta actuales a los datos de producción de los años anteriores, siempre y cuando las operaciones de la planta no hayan cambiado sustancialmente. La repetición de los cálculos es necesaria para garantizar que cualquier cambio en las tendencias de emisión corresponda a un efecto real y no a un artificio derivado de cambios en los procedimientos. Es una *buena práctica* recalcular la serie temporal según las orientaciones propuestas en el Volumen 1, Capítulo 5.

## 3.7.3 Evaluación de incertidumbre

### 3.7.3.1 INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

Las incertidumbres de los valores por defecto son estimaciones basadas en el dictamen de expertos. Es una *buena práctica* obtener estimaciones de incertidumbre al nivel de la planta, las cuales deberían ser menores que los valores de incertidumbre asociados a los valores por defecto.

### 3.7.3.2 INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Allí donde los datos de la actividad hayan sido obtenidos de las plantas, las estimaciones de incertidumbre pueden obtenerse a través de los productores. Esto debe incluir estimaciones de incertidumbres para el uso de agente reductor, entradas carbotérmicas y datos de producción. Por lo general, los datos que se obtienen de los organismos nacionales de estadísticas no incluyen estimaciones de incertidumbre. Es una *buena práctica* consultar los organismos nacionales de estadísticas para obtener información sobre cualquier error de muestreo. Allí donde los organismos nacionales de estadísticas recopilan datos de la población de instalaciones de producción de dióxido de titanio, no es de esperar que las incertidumbres en las estadísticas nacionales difieran de las incertidumbres establecidas a partir de consultas realizadas al nivel de las plantas. Cuando no se disponga de valores de incertidumbre provenientes de otras fuentes, se puede usar un valor por defecto de  $\pm 5$  por ciento.

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

### 3.7.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

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

## Comparación de los factores de emisión

Los compiladores del inventario deben verificar si los factores de emisión estimados están dentro del intervalo de los factores de emisión por defecto proporcionados para el método de Nivel 1 y, además, deben garantizar que los factores de emisión son coherentes con los valores derivados del análisis de la química del proceso. Por ejemplo, la tasa de generación de CO<sub>2</sub> para el rutilo TiO<sub>2</sub> a partir del cloruro, no debería ser inferior a 0,826 toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de rutilo TiO<sub>2</sub> producido. Si los factores de emisión caen fuera de los intervalos estimados, es una *buena práctica* evaluar y documentar las condiciones específicas de la planta que dan cuenta de las diferencias.

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

### 3.7.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

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

#### Verificación de los datos específicos de plantas

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

Los datos de la actividad que abarcan el consumo de carbono de electrodos (escoria de titanio), el uso del carbón como agente reductor (rutilo sintético), la entrada carbotérmica (rutilo TiO<sub>2</sub>), la producción de escoria de titanio, la producción de rutilo sintético y la producción de rutilo TiO<sub>2</sub>;

Los datos de emisión que incluyen el contenido de carbono del agente reductor (electrodo de carbón y carbón) y de la entrada carbotérmica (coque de petróleo), así como la proporción oxidada en el proceso;

El método utilizado para los cálculos y las estimaciones;

La lista de hipótesis formuladas;

La documentación sobre todas las mediciones específicas de las plantas y los resultados de tales mediciones.

Generalmente, los datos de producción y de procesos son considerados como propiedad industrial por los operadores, sobre todo cuando en un país hay sólo un reducido número de plantas. Es una buena práctica aplicar técnicas apropiadas, incluyendo la agregación de los datos, para garantizar la protección de los datos confidenciales.

## 3.8 PRODUCCIÓN DE CENIZA DE SOSA

### 3.8.1 Introducción

La ceniza de sosa (carbonato de sodio, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) es un sólido cristalino blanco que se usa como materia prima en un gran número de industrias incluida la fabricación de vidrio, jabón y detergentes, producción de pulpa y papel y el tratamiento de aguas. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es emitido por el uso de la ceniza de sosa y estas emisiones se contabilizan como una fuente bajo la industria utilizadora pertinente, como se discute en el Volumen 3, Capítulo 2. También se emite CO<sub>2</sub> durante la producción y la cantidad emitida depende del proceso industrial empleado para fabricar la ceniza de sosa.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de ceniza de sosa varían de manera sustancial según el proceso de fabricación. Para producir ceniza de sosa se pueden emplear cuatro procesos diferentes. Tres de estos procesos, el del monohidrato, el del sesquicarbonato de sodio (trona) y el de la carbonización directa, se denominan procesos naturales. El cuarto, o proceso de Solvay, se clasifica como un proceso sintético. El carbonato de calcio (piedra caliza) se emplea como fuente de CO<sub>2</sub> para el proceso de Solvay. Los otros usos de la piedra caliza y de otros carbonatos se discuten en el Volumen 3, Capítulo 2.

## 3.8.2 Producción de la ceniza de sosa natural

Alrededor del 25 por ciento de la producción mundial se produce a partir de depósitos que contienen carbonato de sodio natural mediante los denominados procesos naturales. Durante el proceso de producción, el trona (el mineral principal del cual se extrae la ceniza de sosa natural) se calcina en un horno rotatorio de altas temperatura y se transforma químicamente en ceniza de sosa cruda. En este proceso se genera dióxido de carbono y agua, como productos derivados. Las emisiones de dióxido de carbono pueden estimarse basándose en la reacción química siguiente:



### 3.8.2.1 CUESTIONES METODOLÓGICAS

#### ELECCIÓN DEL MÉTODO

La elección del método depende de las circunstancias nacionales. Las emisiones pueden estimarse utilizando un método basado en la salida (emisiones por unidad de salida) o en un método basado en la entrada (emisiones por unidad de entrada). Sin embargo, allí donde se disponga de datos es una *buena práctica* utilizar el método basado en la entrada.

Los métodos se clasifican según la cantidad de datos que estén disponibles al nivel de la planta. El método de Nivel 1 se basa en valores por defecto y en estadísticas nacionales y el método de Nivel 2 se basa en datos completos sobre la entrada o la salida al nivel de la planta y en factores de emisión específicos de la planta. Si existe un monitoreo y se efectúan mediciones directas de las emisiones de CO<sub>2</sub>, esto sería equivalente a un método de Nivel 3.

#### Método de nivel 1

En la producción de ceniza de sosa natural se emite CO<sub>2</sub> por medio de la descomposición térmica (calcinación) del trona (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·NaHCO<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O) que produce la ceniza de sosa. Según la reacción química presentada más arriba, se necesitan 10,27 toneladas de trona para producir 1 tonelada de dióxido de carbono. En consecuencia, para la producción de ceniza de sosa natural que usa trona, las emisiones de dióxido de carbono pueden calcularse a partir de la entrada de trona o de la salida de ceniza de sosa natural, aplicando la fórmula siguiente:

$$\begin{aligned} & \text{ECUACIÓN 3.14} \\ & \text{EMISIONES DE CO}_2 \text{ DE LA PRODUCCIÓN DE CENIZA DE SOSA NATURAL – NIVEL 1} \\ & E_{\text{CO}_2} = AD \cdot EF \end{aligned}$$

Donde:

$E_{\text{CO}_2}$  = emisiones de CO<sub>2</sub>, toneladas

AD = cantidad de trona utilizado o ceniza de sosa producida, toneladas de trona utilizado o toneladas de ceniza de sosa natural producida

EF = factor de emisión por unidad de entrada de trona o por unidad de salida de ceniza de sosa natural, toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de trona o toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de ceniza de sosa natural producida:  $EF_{\text{trona}} = 0,097$  toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de trona,  $EF_{\text{ceniza de sosa}} = 0,138$  toneladas de CO<sub>2</sub>/toneladas de ceniza de sosa natural producida.

Es una buena práctica evaluar las estadísticas nacionales disponibles para los efectos de la exhaustividad. La elección del método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales, como indica la Figura 3.7, Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de ceniza de sosa natural. Si no se dispone de datos sobre la pureza de la entrada de trona, es una *buena práctica* suponer que es de un 90 por ciento y ajustar el factor de emisión presentado en la Ecuación 3.14

#### Método de nivel 2

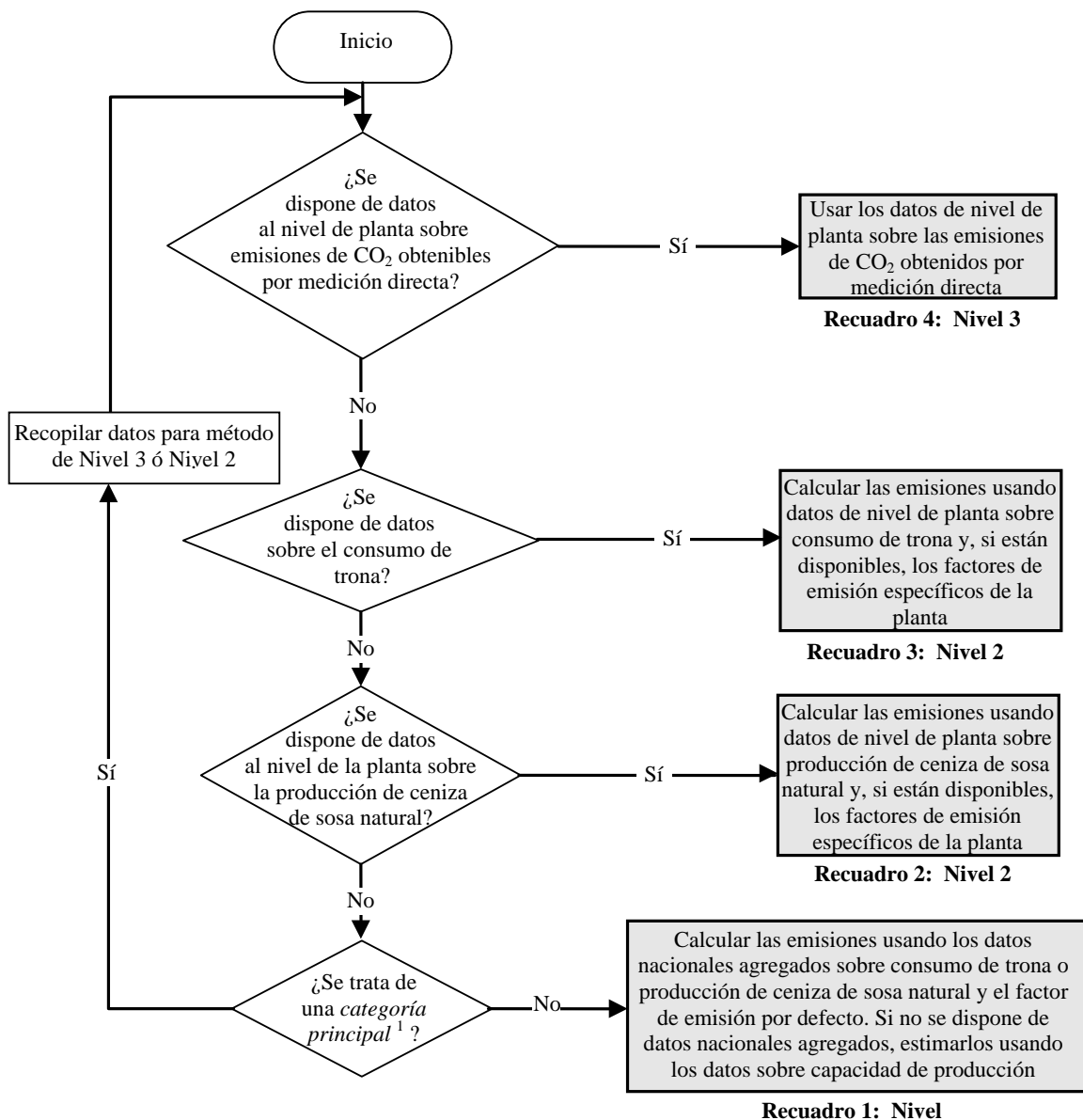
Para utilizar el método de Nivel 2 es necesario reunir los datos completos sobre el consumo de trona o sobre la producción de ceniza de sosa natural para cada una de las plantas del país, junto con factores de emisión específicos de las plantas para la entrada de trona o la salida de ceniza de sosa. Las emisiones de CO<sub>2</sub> para cada planta pueden calcularse empleando una de las variantes de la Ecuación 3.14. Para las plantas donde no se disponga de los factores de emisión específicos de la planta, se pueden usar los factores de emisión por defecto

proporcionados en la Ecuación 3.14. El total de las emisiones de CO<sub>2</sub> corresponde a la suma de las emisiones provenientes de todas las plantas.

### Método de nivel 3

En el método de Nivel 3 se usan datos de emisión de CO<sub>2</sub> al nivel de planta obtenidos por medición directa. El total de las emisiones corresponde a la suma de las emisiones provenientes de todas las plantas.

**Figura 3.7**      **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de ceniza de sosa natural**



Nota

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

## ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

### Método de nivel 1

En el método de Nivel 1 se usan los factores de emisión por defecto presentados en la Ecuación 3.14. Dichos factores de emisión por defecto se derivan del cociente estequiométrico entre la ceniza de sosa producida y el sesquicarbonato de sodio purificado obtenido de trona. Se basan en el principal proceso de producción natural utilizado en la actualidad, en el cual la ceniza de sosa se produce por calcinación de sesquicarbonato de sodio purificado.

## Método de nivel 2

Para el método de Nivel 2 se requieren factores de emisión al nivel de planta por unidad de entrada de trona o por unidad de salida de ceniza de sosa natural. Los factores de emisión al nivel de plantas deben reflejar la pureza fraccional de la entrada de trona y de la salida de ceniza de sosa natural y es una *buena práctica* garantizar que se toman en cuenta en la derivación de los factores de emisión al nivel de plantas.

## ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Es una *buena práctica* recopilar, datos de la actividad con un nivel de detalle que permita el empleo de los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3. Al aplicar los métodos, es esencial hacer una clara distinción entre los productos para evitar multiplicar los datos de la actividad por un factor de emisión incorrecto.

## Método de nivel 1

Para el método de Nivel 1 se requieren datos sobre el consumo nacional de trona o sobre la producción nacional de ceniza de sosa natural. Si no se dispone de datos de la actividad al nivel nacional, se puede utilizar la información sobre la capacidad de producción con estimaciones de emisiones realizadas utilizando un factor de emisión por defecto. . Es una *buena práctica* multiplicar la capacidad total de producción nacional por un factor de utilización de la capacidad de  $80 \pm 10$  por ciento (es decir, un intervalo entre 70 y 90 por ciento).

## Método de nivel 2

Para usar el método de Nivel 2, se deben recopilar datos de la actividad al nivel de plantas. Los datos más importantes son: la cantidad de trona utilizada para la producción de ceniza de sosa y la cantidad de ceniza de sosa natural que se produce en cada planta. Aunque la producción de ceniza de sosa no se emplee en el cálculo si las emisiones se derivan de la entrada de trona, es una *buena práctica* recopilar y declarar estos datos para permitir la comparación de las entradas por unidad de salidas en el transcurso del tiempo y proporcionar una base sólida que garantice la coherencia de la serie temporal.

## EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad de los datos de la actividad (p. ej., la utilización de trona) es un atributo clave de las *buenas prácticas*. Por lo tanto, es una *buena práctica* evaluar las estadísticas nacionales disponibles para los efectos de la exhaustividad. Si se dispone de datos al nivel de plantas, es una *buena práctica* agregar estos datos y verificar el resultado con los datos disponibles al nivel nacional. Esta práctica permite determinar si se ha omitido algún productor significativo de ceniza de sosa y garantizar que todos los procesos de producción del país hayan sido considerados. Si no se dispone de datos al nivel de plantas, es una *buena práctica* utilizar los datos sobre capacidad de producción junto con estadísticas nacionales para estimar las emisiones para los efectos de la exhaustividad.

## DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Es una buena práctica calcular las emisiones provenientes de la ceniza de sosa empleando el mismo método para todos los años de la serie temporal. Allí donde no se disponga de datos para sostener un método más riguroso aplicable a todos los años de la serie temporal, la *buena práctica* consiste en recalcular las carencias según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

### 3.8.2.2 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

#### INCERTIDUMBRES DEL FACTOR DE EMISIÓN

El cociente estequiométrico es un número exacto y si se supone una pureza de 100 por ciento en la entrada o en la salida, la incertidumbre del factor de emisión por defecto es insignificante. Sin embargo, los factores por defecto no toman en cuenta las purezas fraccionales, ni de la entrada de trona ni de la salida de ceniza de sosa, y en ambos casos han de preverse sobreestimaciones consecuentes de las emisiones. Tal como se señaló antes, si no se dispone de datos sobre la pureza de la entrada de trona, es una buena práctica suponer que es de un 90 por ciento y ajustar el factor de emisión presentado en la Ecuación 3.14 Es una *buena práctica* desarrollar estimaciones de incertidumbre basándose en los datos al nivel de planta.

#### INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Allí donde los datos de la actividad hayan sido obtenidos de las plantas, las estimaciones de incertidumbre pueden obtenerse a través de los productores. En esto se incluyen las estimaciones de la incertidumbre para la trona utilizada y la ceniza de sosa natural producida. Los datos que se obtienen de los organismos nacionales de estadísticas, generalmente no incluyen estimaciones de incertidumbre Es una *buena práctica* consultar los organismos nacionales de estadísticas para obtener información sobre cualquier error de muestreo. Allí donde los organismos nacionales de estadísticas recopilan datos de la población de plantas de producción de ceniza de

sosa, no es de esperar que las incertidumbres en las estadísticas nacionales difieran de las incertidumbres establecidas a partir de consultas realizadas al nivel de las plantas. Cuando no se disponga de valores de incertidumbre provenientes de otras fuentes, se puede usar un valor por defecto de  $\pm 5$  por ciento.

### 3.8.2.3 GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD (GC/CC), GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

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

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

#### Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos

Si se emplea el método «de abajo hacia arriba», los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones de emisiones con las estimaciones calculadas mediante el método «de arriba hacia abajo». Los resultados de tales comparaciones deben registrarse con fines de documentación interna, incluidas las explicaciones sobre cualquier discrepancia.

#### GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, así como toda la información necesaria para reproducir las estimaciones.

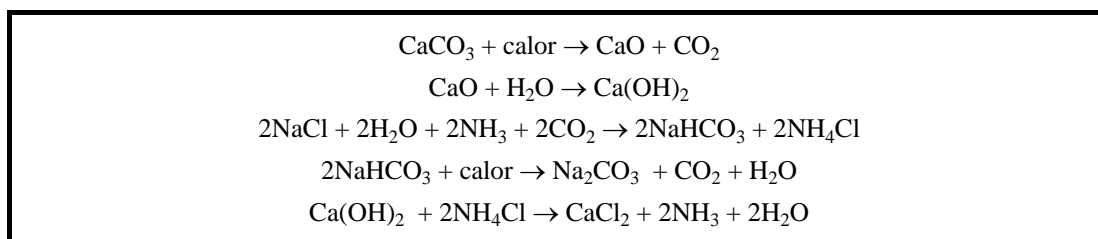
Aparte de las emisiones, es una *buena práctica* declarar los datos de la actividad empleados en el cálculo (utilización de trona) y los factores de emisión correspondientes junto con las hipótesis aplicadas en la derivación.

Con el fin de preservar una serie temporal de emisiones internamente coherente, cada vez que se cambien los métodos nacionales, es una *buena práctica* recalcular por completo la serie temporal. Si la confidencialidad es un asunto importante para cualquier tipo de producción, las estimaciones pueden agregarse en la mínima medida posible que garantice la confidencialidad.

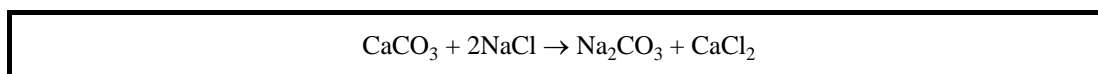
Además, los compiladores del inventario deben documentar los procedimientos de GC/CC.

### 3.8.3 Producción de ceniza de sosa sintética Solvay

Alrededor del 75 por ciento de la producción mundial de ceniza de sosa es ceniza de sosa sintética fabricada a partir del cloruro de sodio. En el proceso Solvay, la salmuera de cloruro de sodio, la piedra caliza, el coque metalúrgico y el amoníaco son las materias primas que se emplean en una serie de reacciones que conducen a la producción de ceniza de sosa. Sin embargo, el amoníaco es reciclado y sólo se pierde una pequeña cantidad. La serie de reacciones involucradas en el proceso Solvay pueden describirse de la siguiente manera:



La reacción neta global puede resumirse así:



De la serie de reacciones presentadas arriba, el  $\text{CO}_2$  se genera en dos procesos de pirolisis. El  $\text{CO}_2$  generado se captura, se comprime y se dirige a las torres Solvay de precipitado para su consumo en una mezcla de salmuera ( $\text{NaCl}$  acuoso) y amoníaco. Aunque el  $\text{CO}_2$  se genera como producto derivado, éste se recupera y se recicla para



utilizarlo en la etapa de carbonación y en teoría el proceso es neutro, vale decir, el CO<sub>2</sub> que se genera iguala al que se reinyecta.

En la práctica, parte del CO<sub>2</sub> es emitido hacia la atmósfera durante la producción por el proceso Solvay pues se produce más CO<sub>2</sub> que lo requerido por la estequiometría. El exceso de CO<sub>2</sub> proviene de la calcinación de la piedra caliza con coque de grado metalúrgico. La piedra caliza se combina con el coque en una proporción de 7 por ciento de piedra caliza por peso, aproximadamente.

La estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de una planta autónoma de ceniza de sosa debe basarse en un balance general del CO<sub>2</sub> en torno al proceso químico en su totalidad. Para los efectos del inventario, se puede usar una versión simplificada del balance suponiendo que las emisiones de CO<sub>2</sub> resultan de la oxidación estequiométrica del carbono de coque. El proceso Solvay amoniacal de producción de ceniza de sosa es una actividad química industrial y las emisiones deben declararse bajo el Sector Procesos industriales y uso de productos (IPPU).

**RECUADRO 3.7**  
**CÓMPUTO DOBLE**

Con el fin de evitar el cómputo doble, las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en el proceso de producción de la ceniza de sosa deben declararse en **Sector IPPU** y no deben incluirse en el **Sector Energía**. El coque utilizado en el proceso de producción debe deducirse del **Sector Energía** en calidad de uso no energético del coque.

### 3.8.3.1 GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD (GC/CC), GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

La atribución de las emisiones provenientes del uso del coque de grado metalúrgico en el proceso Solvay al **Sector Energía** significa que no se ha previsto una metodología para estimar estas emisiones en el **Sector Procesos industriales y usos de los productos**. Sin embargo, los datos sobre la producción de ceniza de sosa a partir del proceso Solvay deben recopilarse y cotejarse para garantizar que todos los datos sobre producción de ceniza de sosa están disponibles para ser registrados, declarados, archivados y puestos en concordancia con las estadísticas nacionales sobre el uso de la ceniza de sosa.

#### **GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)**

Constituye una *buena práctica* realizar verificaciones de control de calidad, como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6. También pueden ser aplicables verificaciones adicionales de control de calidad, como las esbozadas en el Volumen 1, y procedimientos adicionales de garantía de calidad. Se insta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

#### **GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN**

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, así como toda la información necesaria para reproducir las estimaciones.

## 3.9 PRODUCCIÓN PETROQUÍMICA Y DEL NEGRO DE HUMO

### 3.9.1 Introducción

La industria petroquímica utiliza combustibles fósiles (p. ej., gas natural) o productos de refinería de petróleo (p. ej., nafta) como alimentación a procesos. En esta sección se brinda una orientación para estimar las emisiones provenientes de la producción de metanol, etileno y propileno<sup>2</sup>, dicloruro de etileno, óxido de etileno y

<sup>2</sup> Nótese que no existe una metodología de inventario aparte para el propileno. Se supone que el propileno es un producto derivado de la producción de etileno.

acrilonitrilo. Estos productos petroquímicos son considerados en detalle porque el volumen de su producción mundial y sus emisiones asociadas de gases de efecto invernadero son relativamente grandes. Sin embargo, no se pretende que los productos químicos incluidos representen la totalidad del sector del proceso petroquímico. Existen varios otros procesos petroquímicos que emiten pequeñas cantidades de gases de efecto invernadero para los cuales no se provee una orientación específica (p. ej., la producción de estireno).

En esta sección también se brinda una orientación para la producción de negro de humo. El negro de humo no es considerado un producto petroquímico; sin embargo, el proceso de producción de negro de humo utiliza sustancias petroquímicas como alimentación al proceso. Las emisiones provenientes de la producción de negro de humo son inferiores a las de los procesos petroquímicos pero pueden ser significativas para algunos países.

Los ejemplos de sustancias de alimentación a las cadenas de producción del metanol, etileno y propileno, dicloruro de etileno, óxido de etileno, acrilonitrilo y negro de humo se incluyen en el Anexo de la Sección 3.9.

### **Asignación y declaración**

En el ámbito de la industria petroquímica y de la industria del negro de humo, los combustibles fósiles primarios (gas natural, petróleo, carbón) se utilizan con fines no combustibles en la fabricación de productos petroquímicos y de negro de humo. El uso de estos combustibles fósiles primarios puede implicar la combustión de una parte del contenido de hidrocarburo para aumentar el calor y producir combustibles secundarios (p. ej., descargas gaseosas).

Las emisiones provenientes de la combustión de los combustibles obtenidos de la alimentación a procesos deben atribuirse a la categoría de fuente en el Sector IPPU. Sin embargo, allí donde los combustibles no se usan dentro de la categoría de fuente, pero se transfieren fuera del proceso para su combustión en otras partes (p. ej., con propósitos de generación de calor en el distrito) las emisiones deben declararse en la categoría adecuada del Sector Energía. Las industrias están incluidas en la categoría de fuente Industria Química (2B1 – 2B10), véase la Figura 1.1, Categorías de fuente de Procesos industriales y uso de productos en el Capítulo 1 de este volumen. Se analiza más el uso no energético de los combustibles en los Capítulos 1 y 5 de este volumen.

Nótese que las estadísticas sobre la energía nacional pueden incluir la combustión total de los combustibles fósiles (incluidos el gas natural, el petróleo y el carbón) y también de los combustibles secundarios (tales como las descargas gaseosas de los procesos industriales) para la producción de energía. Es importante investigar si los combustibles utilizados en las industrias petroquímicas están incluidos en las estadísticas nacionales sobre energía. De ser así, las emisiones provenientes de los procesos petroquímicos deben restarse de las emisiones calculadas para el sector energía con el fin de evitar el cómputo doble. Esto es de una pertinencia particular en los casos del etileno y del metanol, donde el consumo de combustibles primarios (p. ej., gas natural, etano, propano) de alimentación al proceso puede estar declarado en las estadísticas nacionales sobre energía.

En el caso de que una planta haya instalado y utilice una tecnología de captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), es una *buena práctica* restar el CO<sub>2</sub> capturado de los cálculos de emisiones de nivel superior. Por defecto, se supone que no hay captura ni almacenamiento (CCS) de CO<sub>2</sub>. En toda metodología que tome en cuenta la captura de CO<sub>2</sub>, debe considerarse que las emisiones de CO<sub>2</sub> capturado en el proceso pueden estar relacionadas, a la vez, tanto con la combustión como con el proceso. En los casos en los que las emisiones debidas a la combustión y al proceso deban declararse por separado, los compiladores del inventario deben garantizar que las mismas cantidades de CO<sub>2</sub> no sean contabilizadas por partida doble. En estos casos, la cantidad total de CO<sub>2</sub> capturado debe declararse preferentemente en las correspondientes categorías de fuente de Energía e IPPU, en proporción con las cantidades de CO<sub>2</sub> generado en estas categorías de fuente. Para más información sobre captura de CO<sub>2</sub> y almacenamiento refiérase al Volumen 3, Sección 1.2.2 y para mayores detalles sobre captura y almacenamiento, al Volumen 2, Sección 2.3.4.

Los procesos petroquímicos pueden utilizar el CO<sub>2</sub> capturado en otros lugares con el fin de alimentar los procesos y el CO<sub>2</sub> puede capturarse también de los procesos petroquímicos. Esto puede crear problemas potenciales de cómputo doble. Por ejemplo, algunas plantas de metanol pueden utilizar CO<sub>2</sub> como producto derivado capturado desde otros procesos industriales en calidad de alimentación al proceso de producción del metanol. Para evitar el cómputo doble, no debe declararse el CO<sub>2</sub> capturado como emisiones de CO<sub>2</sub> del proceso donde se ha capturado.

### **METANOL**

Casi todo el metanol se fabrica mundialmente por la vía del reformado al vapor del gas natural. El reformado al vapor y la reacción de desplazamiento producen «gas de síntesis» compuesto de CO<sub>2</sub>, monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H<sub>2</sub>). El proceso de producción del metanol a partir de gas natural produce metanol y los productos derivados del gas de síntesis, CO<sub>2</sub>, CO, y H<sub>2</sub>. Hay varios procesos alternativos para producir metanol a partir del gas natural u otros combustibles de alimentación a procesos. Entre éstos se incluyen los procesos de reformado convencional, de reformado combinado y de oxidación parcial. Un ejemplo de diagrama de flujo de un «proceso de alimentación-producto» para la producción de metanol se presenta en el Anexo de la Sección 3.9 (Anexo 3.9A). En el Recuadro 3.8 se incluyen descripciones del proceso de producción del metanol.

**RECUADRO 3.8**  
**DESCRIPCIONES DEL PROCESO DEL METANOL**

**Proceso de reformado convencional**

El proceso de reformado convencional para la producción de metanol incluye el reformado al vapor (que puede incluir, una única unidad de reformado, o bien una dupla formada por una unidad de reformado primaria con una unidad de reformado secundaria) y la síntesis de metanol. Las ecuaciones generales del proceso de reformado convencional son:

<u>Reformado al vapor</u> $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3 H_2$ $C_nH_m + nH_2O \rightarrow nCO + (m/2 + n) H_2$	<u>Reacción de desplazamiento</u> $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$	<u>Producción de metanol</u> $CO + 2 H_2 \rightarrow CH_3OH$ $CO_2 + 3 H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O$
<u>Reformado/Reacción de desplazamiento</u> $2 CH_4 + 3 H_2O \rightarrow CO + CO_2 + 7 H_2$	<u>Producción de metanol</u> $CO + CO_2 + 7 H_2 \rightarrow 2 CH_3OH + 2 H_2 + H_2O$	

El hidrógeno excedente de este proceso y el gas de purga del proceso del metanol que contiene metano y compuestos orgánicos volátiles diferentes del (COVDM), se recuperan y se queman para la recuperación de energía, generalmente dentro del proceso de producción del metanol, para producir vapor de proceso y/o electricidad para el proceso. El proceso de reformado convencional puede utilizar CO<sub>2</sub> capturado desde otros procesos industriales, en calidad de sustancia complementaria de alimentación al proceso de producción del metanol.

**Proceso de reformado combinado**

El proceso de reformado combinado combina el proceso de reformado al vapor convencional con un proceso de oxidación catalítica parcial. Las ecuaciones químicas de la oxidación catalítica parcial son:

<u>Reacción de Reformado al vapor del etanol</u> $CH_4 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO + 2 H_2 \rightarrow CH_3OH$	<u>Reacción de oxidación de la alimentación al proceso</u> $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2$
--	---

El proceso de reformado combinado produce un gas de síntesis que contiene una proporción más equilibrada de hidrógeno respecto del monóxido de carbono (CO) y del CO<sub>2</sub> que la del proceso de reformado convencional y no produce una corriente de gas hidrógeno para recuperación de energía. El proceso de reformado combinado produce un gas de purga que contiene CH<sub>4</sub>, el cual se quema para recuperar energía dentro del proceso del metanol.

**Otros Procesos de producción**

El metanol puede producirse también a partir de la oxidación parcial del petróleo, del carbón o de sustancias petroquímicas de alimentación a procesos, o bien, de la gasificación del carbón en gas de síntesis. Sin embargo, estas sustancias de alimentación a procesos y estos procesos representan actualmente sólo una pequeña parte de la producción mundial de metanol.

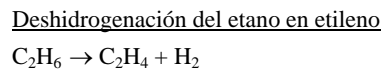
**ETILENO**

Casi todo el metanol se fabrica mundialmente por vía de la escisión al vapor de sustancias petroquímicas de alimentación a procesos. El etileno puede producirse mediante la escisión al vapor de las sustancias petroquímicas de alimentación a procesos en una planta petroquímica y puede producirse también mediante la escisión y otros procesos operados en las refinerías de petróleo. La escisión al vapor para la producción de etileno da por resultado también productos secundarios, incluidos el propileno y el butadieno. En el Recuadro 3.9 se presenta una descripción del proceso de escisión al vapor para la producción de etileno.

**RECUADRO 3.9**  
**DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL ETILENO**

**Escisión al vapor**

La ecuación química fundamental para la producción de etileno es la siguiente:



Los tipos y las mezclas de sustancias de alimentación a procesos utilizados en la escisión al vapor para la producción de etileno varían según la región e incluyen sustancias como el etano, propano, butano, nafta, gasóleo y otras sustancias petroquímicas de alimentación a procesos. En Estados Unidos, la mayor parte del etileno se produce a partir de la escisión al vapor del etano, mientras que en Europa, Corea y Japón, la mayor parte del etileno se produce a partir de la escisión al vapor de la nafta.

La escisión al vapor de las sustancias petroquímicas de alimentación a procesos para producir etileno genera también otros productos petroquímicos de alto valor comercial, incluidos el propileno, el butadieno y los compuestos aromáticos. La mayor parte del propileno se produce mundialmente en las refinerías de petróleo como producto derivado de la producción de etileno, recuperándolo ya sea del fraccionador al vapor o de las unidades de desintegración catalítica fluida. Los fraccionadores al vapor que utilizan nafta como alimentación al proceso son la fuente más importante de propileno. Existen otras tecnologías de proceso que se usan para producir propileno, incluida la deshidrogenación catalítica del propano. Nótese que los métodos de estimación de emisiones de esta sección se aplican sólo a la producción de etileno y propileno en fraccionadores al vapor y no se aplican a otras tecnologías de proceso utilizadas para producir etileno o propileno. El proceso de escisión al vapor genera también productos derivados, como el hidrógeno, el metano y los hidrocarburos C4+, que generalmente se queman para recuperar energía al interior del proceso.

(Houdek, 2005: Figura 1 de la Página 3, Página 4)

**DICLORURO DE ETILENO Y MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO**

Casi todo el dicloruro etileno (1,2-dicloroetano) se fabrica mundialmente por la vía de la cloración directa o de la oxiclорación del etileno, o bien por una combinación de ambos procesos (denominado «proceso equilibrado»). Un ejemplo de diagrama de flujo de un proceso de alimentación al producto para la producción de dicloruro de etileno se presenta en el Anexo de la Sección 3.9 (Anexo 3.9A). Más abajo, en el Recuadro 3.10 se presentan descripciones del proceso de producción del dicloruro de etileno y del monómero de cloruro de vinilo. Nótese que el compuesto químico «dicloruro de etileno» se denomina también 1,2-dicloroetano. El compuesto químico «dicloroetileno», denominado también 1,2-dicloroeteno, es un compuesto diferente.

**RECUADRO 3.10**  
**DESCRIPCIONES DEL PROCESO DEL DICLORURO DE ETILENO Y DEL MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO**

**Proceso de cloración directa y de Oxiclорación**

El proceso de cloración directa implica una reacción en fase gaseosa del etileno con cloro para producir dicloruro de etileno. El proceso de oxiclорación implica una reacción en fase gaseosa del etileno con ácido clorhídrico y oxígeno para producir dicloruro de etileno y agua. Luego, el dicloruro de etileno se fracciona para producir monómero de cloruro de vinilo y ácido clorhídrico. El proceso de oxiclорación produce una descarga gaseosa que contiene CO<sub>2</sub> como producto derivado producido por la oxidación directa de la alimentación del etileno al proceso.

Las ecuaciones químicas fundamentales para el proceso de cloración directa y de oxiclорación son las siguientes:

<p><u>Cloración directa</u>  <math>C_2H_4 + Cl_2 \rightarrow C_2H_4Cl_2</math></p>	<p><u>Reacción de oxiclорación</u>  <math>C_2H_4 + \frac{1}{2} O_2 + 2 HCl</math>  <math>\rightarrow C_2H_4Cl_2 + H_2O</math>  <math>[C_2H_4 + 3 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + 2 H_2O]</math></p>	<p><u>Dicloruro de etileno &gt; cloruro de vinilo</u>  <math>2 C_2H_4Cl_2 \rightarrow 2 CH_2CHCl + 2 HCl</math></p>
--	--	---

**RECUADRO 3.10 (CONTINUACIÓN)**

**DESCRIPCIONES DEL PROCESO DEL DICLORURO DE ETILENO Y DEL MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO**

**Proceso equilibrado**

La combinación del proceso de cloración directa que produce dicloruro de etileno con el proceso de escisión del dicloruro de etileno que produce monómero de cloruro de vinilo genera un excedente de cloruro de hidrógeno. El proceso de oxiclорación proporciona un sumidero para el cloruro de hidrógeno. Por lo tanto, las instalaciones de producción de dicloruro de etileno y/o monómero de cloruro de vinilo pueden operar en un «proceso equilibrado» en el cual se combinan ambos procesos, el de cloración directa y el de oxiclорación. El «proceso equilibrado» produce también un venteo de gases de proceso que contiene CO<sub>2</sub> como producto derivado de la oxidación directa del etileno de alimentación al proceso.

Las ecuaciones químicas fundamentales del «proceso equilibrado» para producir el monómero de cloruro de vinilo a partir del etileno son las siguientes:

<u>Reacción dicloruro de etileno – monómero de cloruro de vinilo</u>	<u>Reacción de oxidación de la alimentación al proceso</u>
$2 \text{C}_2\text{H}_4 + \text{Cl}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CH}_2\text{CHCl} + \text{H}_2\text{O}$	$[\text{C}_2\text{H}_4 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}]$

Los procesos de cloración directa y oxiclорación para la producción de dicloruro de etileno no son eficientes al 100 por ciento en la utilización del etileno de alimentación al proceso. Una fracción del orden del 3 por ciento del etileno que alimenta el proceso no se convierte en dicloruro de etileno, sino en CO<sub>2</sub> (por oxidación directa en el proceso de oxiclорación) ni en otro hidrocarburo clorado (ya sea en el proceso de oxiclорación o en el de cloración directa). La descarga gaseosa del proceso que contiene otros hidrocarburos clorados es tratada generalmente antes de ser descargada hacia la atmósfera. Los hidrocarburos clorados se convierten en CO<sub>2</sub> en un proceso de incineración térmico o catalítico. La mayor parte de las plantas de dicloruro de etileno y/o de monómero de cloruro de vinilo recuperan energía del incinerador de descargas gaseosas y de las descargas gaseosas del proceso.

**ÓXIDO DE ETILENO**

El óxido de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O) se fabrica haciendo reaccionar el etileno con oxígeno en presencia de un catalizador. El CO<sub>2</sub> como producto derivado de la oxidación directa del etileno de alimentación al proceso, se elimina de la corriente de venteo del proceso utilizando una solución de carbonato reciclado y el CO<sub>2</sub> recuperado puede ventearse hacia la atmósfera o recuperarse para una utilización ulterior (p. ej., producción de alimentos). El oxígeno puede suministrarse al proceso, ya sea mediante aire o como oxígeno puro separado del aire. Un ejemplo de diagrama de flujo de un proceso de alimentación a producto para la producción de óxido de etileno se presenta en un Anexo de la Sección 3.9 (Anexo 3.9A). En el Recuadro 3.11, a continuación, se presenta una descripción del proceso de producción de óxido de etileno.

**RECUADRO 3.11**

**DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL ÓXIDO DE ETILENO**

Las ecuaciones químicas fundamentales para la producción de óxido de etileno a partir del etileno y la producción de glicol de monoetileno son las siguientes:

<u>Reacción del óxido de etileno</u>	<u>Reacción de oxidación de la alimentación al proceso</u>	<u>Producción de glicol de monoetileno</u>
$\text{C}_2\text{H}_4 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	$\text{C}_2\text{H}_4 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HO}-\text{C}_2\text{H}_4-\text{OH}$

El cociente de reacción del óxido de etileno y la reacción del producto derivado definen la selectividad del proceso del óxido de etileno, en términos de toneladas de etileno consumido por tonelada de dióxido de etileno producido. La reacción combinada de óxido de etileno con la de producto derivado es exotérmica y genera calor, el cual se recupera con el fin de producir vapor para el proceso. El proceso del óxido de etileno produce también otros productos derivados líquidos y descargas gaseosas (p. ej., etano), el cual puede quemarse para recuperar energía al interior del proceso. La cantidad de CO<sub>2</sub> y otros productos derivados producidos en el proceso y la cantidad de vapor producido desde el proceso depende de la selectividad del proceso.

El óxido de etileno se emplea como sustancia de alimentación a los procesos de fabricación de los glicoles, ésteres de glicol, alcoholes y aminas. Alrededor de un 70 por ciento del óxido de etileno producido mundialmente se utiliza en la fabricación de glicoles, incluido el glicol de monoetileno.

## ACRILONITRILO

Más del 90 por ciento del acrilonitrilo (cianuro de vinilo) que se produce mundialmente se fabrica por la vía de la amoxidación directa del propileno con amoníaco (NH<sub>3</sub>) y oxígeno en presencia de un agente catalizador. Este proceso se denomina proceso SOHIO, por sus siglas, del nombre de la compañía *Standard Oil Company of Ohio*. El acrilonitrilo puede fabricarse también por amoxidación del propano o directamente de la reacción del propano con peróxido de hidrógeno. El proceso directo propano-peróxido ha sido comercializado recientemente por *British Petroleum* (BP) y otros fabricantes (DOE, 2000). Sin embargo, no es fácil disponer de datos sobre el proceso de producción del acrilonitrilo a partir de la alimentación con propano. Por lo tanto, para este proceso no se provee una metodología de estimación de emisiones. Un ejemplo de diagrama de flujo de un «proceso de alimentación-producto» para la producción de propileno se presenta en el Anexo de la Sección 3.9 (Anexo 3.9A). En el siguiente Recuadro 3.12 se incluye una descripción del proceso de producción del acrilonitrilo.

**RECUADRO 3.12**  
**DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL ACRILONITRILO**

### Proceso SOHIO

El proceso SOHIO recurre a una reacción de lecho fluidizado del propileno de grado químico, amoníaco y oxígeno, en presencia de agentes catalizadores. El catalizador es una mezcla de óxidos de metales pesados (incluidos el bismuto y el molibdeno). El proceso produce acrilonitrilo como producto primario y acetonitrilo (cianuro de metilo) y cianuro de hidrógeno (HCN) como productos secundarios. El rendimiento del proceso en producto primario de acrilonitrilo depende en parte del tipo de catalizador utilizado y de la configuración del proceso. El proceso de amoxidación produce también CO<sub>2</sub>, CO y agua como productos derivados de la oxidación directa del propileno de alimentación al proceso, así como otros hidrocarburos resultantes de las reacciones secundarias del proceso de amoxidación.

El acetonitrilo y el cianuro de hidrógeno se separan del acrilonitrilo por absorción y el cianuro de hidrógeno puede utilizarse en la fabricación de otros productos en el mismo sitio o venderse como un producto. El cianuro de hidrógeno no utilizado ni vendido puede quemarse en antorcha o para recuperar energía. El acetonitrilo también puede recuperarse para la venta como producto, pero es más frecuente que se queme en antorcha o para recuperar energía. Las descargas gaseosas provenientes del respiradero principal de absorción, que contienen CO<sub>2</sub>, CO, nitrógeno, agua, propileno sin reaccionar y otros hidrocarburos, pueden quemarse en antorcha o tratarse en una unidad de oxidación térmica o catalítica, con o sin recuperación de energía.

Los líquidos pesados de sedimentación de los procesos de absorción y separación del acetonitrilo – cianuro de hidrógeno – acrilonitrilo pueden también reciclarse o quemarse para recuperar energía. El acrilonitrilo y otros hidrocarburos no metano son liberados también desde los variados respiraderos de venteo, incluidos los tanques de almacenamiento. Estos variados venteos de proceso pueden quemarse en antorcha o capturarse para recuperar energía.

Las ecuaciones químicas fundamentales para la producción de acrilonitrilo por amoxidación son las siguientes:

<p><u>Reacción del acrilonitrilo</u></p> $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + 1.5 \text{ O}_2 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{CH}_2=\text{CHCN} + 3 \text{ H}_2\text{O}$	<p><u>Reacción del cianuro de hidrógeno</u></p> $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + 3 \text{ O}_2 + 3 \text{ NH}_3 \rightarrow 3 \text{ HCN} + 6 \text{ H}_2\text{O}$
<p><u>Reacción del acetonitrilo</u></p> $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3 + 1.5 \text{ O}_2 + 1.5 \text{ NH}_3 \rightarrow 1.5 \text{ CH}_3\text{CN} + 3 \text{ H}_2\text{O}$	<p><u>Oxidación de la alimentación al proceso</u></p> $\text{C}_3\text{H}_6 + 4.5 \text{ O}_2 \rightarrow 3 \text{ CO}_2 + 3 \text{ H}_2\text{O}$ $\text{C}_3\text{H}_6 + 3 \text{ O}_2 \rightarrow 3 \text{ CO} + 3 \text{ H}_2\text{O}$

La amoxidación de propileno en acrilonitrilo no es eficiente al 100 por ciento en la utilización del propileno como alimentación al proceso. La conversión del propileno de alimentación al proceso en acrilonitrilo es del orden del 70 por ciento. Una fracción del orden del 85 por ciento del propileno de alimentación al proceso se convierte, ya sea en producto primario de acrilonitrilo o en productos secundarios como el acetonitrilo o el cianuro de hidrógeno. El resto del propileno de alimentación al proceso se convierte, ya sea directamente en CO<sub>2</sub> mediante la oxidación directa de la alimentación en el proceso de amoxidación o en otros hidrocarburos a través de las reacciones secundarias del proceso de amoxidación.

## NEGRO DE HUMO

Casi todo el negro de humo que se produce mundialmente se fabrica a partir de sustancias de alimentación al proceso basadas en el petróleo o en el carbón mediante el proceso del «negro de horno». En el Recuadro 3.13, presentado más abajo, se incluyen descripciones del proceso de producción del negro de humo.

El proceso de negro de horno es un proceso de combustión parcial en el cual una parte de la alimentación al proceso se quema para proporcionar energía al mismo proceso. El negro de humo puede producirse también utilizando la oxidación parcial de otras sustancias de alimentación al proceso basadas en el petróleo o el carbón. El negro de humo puede producirse también por escisión térmica de las sustancias de alimentación que contienen acetileno («proceso del negro de acetileno») o de otros hidrocarburos («proceso del negro térmico»). Alrededor del 95 por ciento de la producción mundial de negro de humo se efectúa a través del proceso del negro de horno; el 5 por ciento restante se produce a través de otros procesos.

Cerca de un 90 por ciento del negro de humo producido mundialmente se usa en la industria de los neumáticos y del caucho (denominado «negro de caucho») y el resto se utiliza en aplicaciones de pigmentos (p. ej., las tintas) y otras aplicaciones (p. ej., las pilas secas de carbono). El negro de humo puede producirse utilizando un proceso de negro de horno, un proceso de negro térmico, un proceso de negro de carbono de acetileno, un proceso de negro canal y un proceso de negro de lámpara. Estos procesos se describen más detalladamente en el Recuadro 3.13, a continuación. Un ejemplo de diagrama de flujo de un «proceso de alimentación-producto» para la producción de negro de humo mediante el proceso de negro de horno se presenta en el Anexo de la Sección 3.9 (Anexo 3.9A).

**RECUADRO 3.13**  
**DESCRIPCIONES DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL NEGRO DE HUMO**

**Proceso del negro de horno**

El proceso del negro de horno produce negro de humo a partir de «sustancias de alimentación al proceso de negro de humo» (denominadas también «aceites de negro de humo») que son aceites pesados poliaromáticos que pueden obtenerse, ya sea como productos derivados del proceso de refinamiento del petróleo o del proceso de producción del coque metalúrgico (carbón). Tanto para las sustancias derivadas del petróleo como para las derivadas del carbón, la alimentación al proceso de negro de humo, o «alimentación primaria», se inyecta en un horno calentado por una «alimentación secundaria» (en general, gas natural o petróleo). Ambas alimentaciones al proceso, la secundaria de gas natural y una parte de la alimentación para el negro de humo, se oxidan para proporcionar calor al proceso de producción que piroliza la alimentación restante y genera negro de humo. El gas de venteo del proceso del negro de humo contiene CO<sub>2</sub>, CO, compuestos de azufre, CH<sub>4</sub> y COVDM. Por lo general, una fracción del gas de cola se quema para recuperar energía y calentar secundariamente los secadores del producto negro de humo. El gas de cola restante puede quemarse para recuperar energía, en antorcha, o bien ventearse incontroladamente hacia la atmósfera.

**Proceso del negro térmico**

En el proceso del negro térmico se produce el negro de humo por descomposición térmica de hidrocarburos gaseosos o de aceites de petróleo atomizados en ausencia de aire en un par de hornos de producción. Las sustancias de alimentación al proceso del negro de humo se introducen en un horno precalentado que se calienta con una alimentación secundaria, generalmente gas natural, y con la descarga gaseosa del proceso del negro de humo. Uno de los hornos del par está en precalentamiento mediante la alimentación secundaria mientras el otro horno está recibiendo la alimentación para el negro de humo. El rendimiento de este proceso es cercano al 45 por ciento de la entrada total de carbono al proceso (o de 40 por ciento respecto del total de la alimentación para negro de humo utilizada) y la energía utilizada se aproxima a unos 280 MJ/kg. de negro de humo producido.

**Proceso del negro de acetileno**

El negro de humo se produce a partir del acetileno o de hidrocarburos ligeros que contienen acetileno mediante el suministro de esta alimentación al reactor precalentado, donde el acetileno se descompone en negro de humo por un proceso exotérmico. La producción mundial total de negro de acetileno es de sólo unas 40 000 toneladas métricas por año, aproximadamente. El rendimiento en negro de humo mediante este proceso es aproximadamente de un 95-99 por ciento del rendimiento teórico. El negro de acetileno contiene alrededor de un 99,7 por ciento de carbono.

**Otros procesos de producción**

El proceso del negro canal implica la oxidación parcial de una alimentación de carbono vaporizado que se quema en un horno con un gas de transporte (que puede ser gas de horno de coque, hidrógeno o metano). El rendimiento en negro de humo para este proceso puede alcanzar un 60 por ciento del total del carbono de entrada para la producción de negro de humo de grado-caucho o entre un 10 por ciento a un 30 por ciento del total de la entrada de carbono para el negro de humo de grado-pigmento.

El proceso del negro de lámpara implica la quema abierta de la alimentación para negro de humo en bandejas poco profundas. Los datos sobre el rendimiento de la alimentación y el consumo de energía del proceso del negro de lámpara no están fácilmente disponibles. Este proceso representa una parte insignificante de la producción mundial de negro de humo.

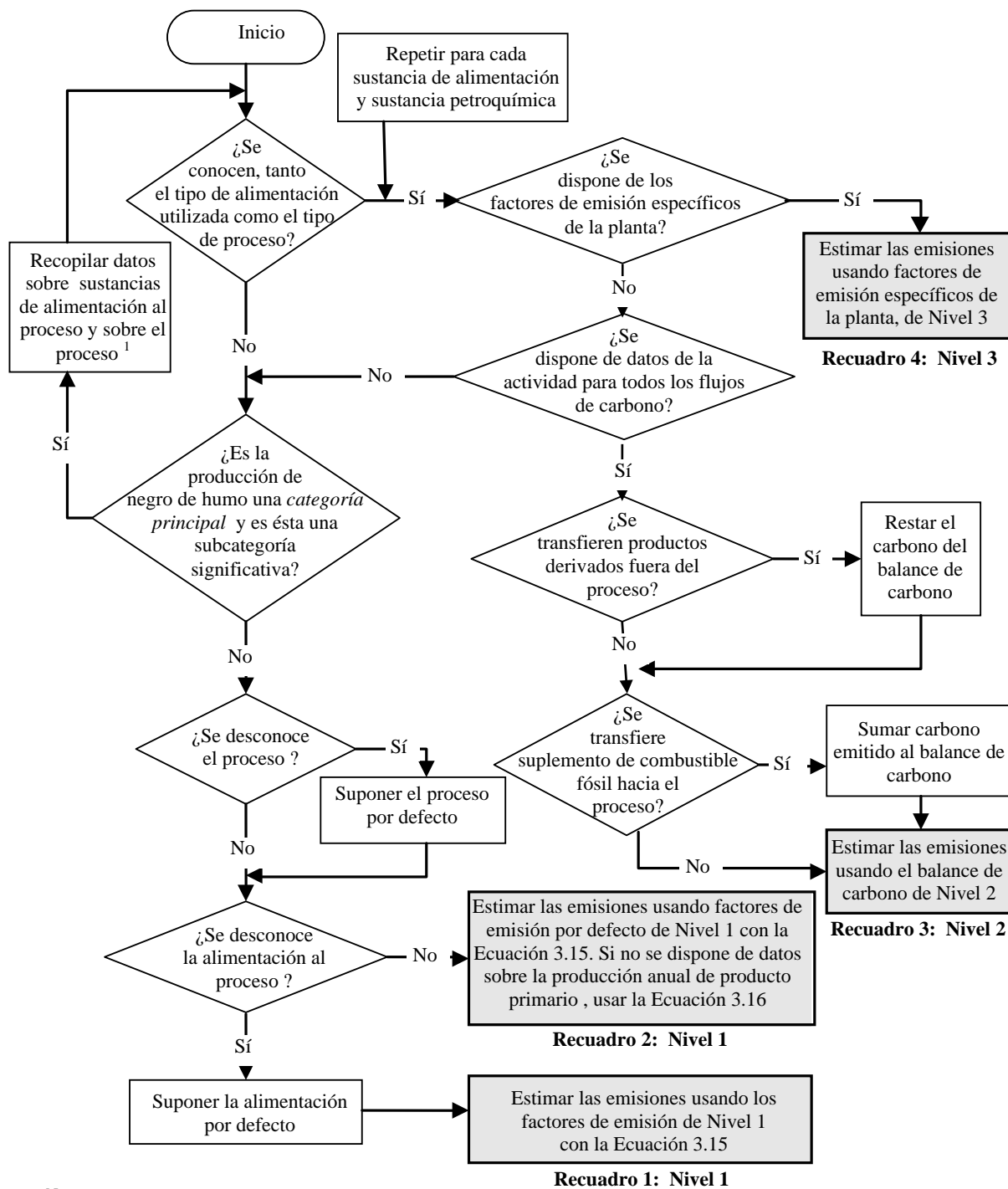
(Kirk Othmer, 1992)

## 3.9.2 Cuestiones metodológicas

### 3.9.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Las emisiones provenientes de la producción de sustancias petroquímicas y de negro de humo varían doblemente, según el proceso y la alimentación utilizados para el proceso. La elección del método debe por lo tanto repetirse para cada producto, proceso y alimentación utilizados. Se proporcionan tres niveles metodológicos según la disponibilidad de los datos. La elección del método depende de las circunstancias nacionales y se presenta en los árboles de decisión de las Figura 3.8 y 3.9

**Figura 3.8** **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la industria petroquímica e industria del negro de humo**

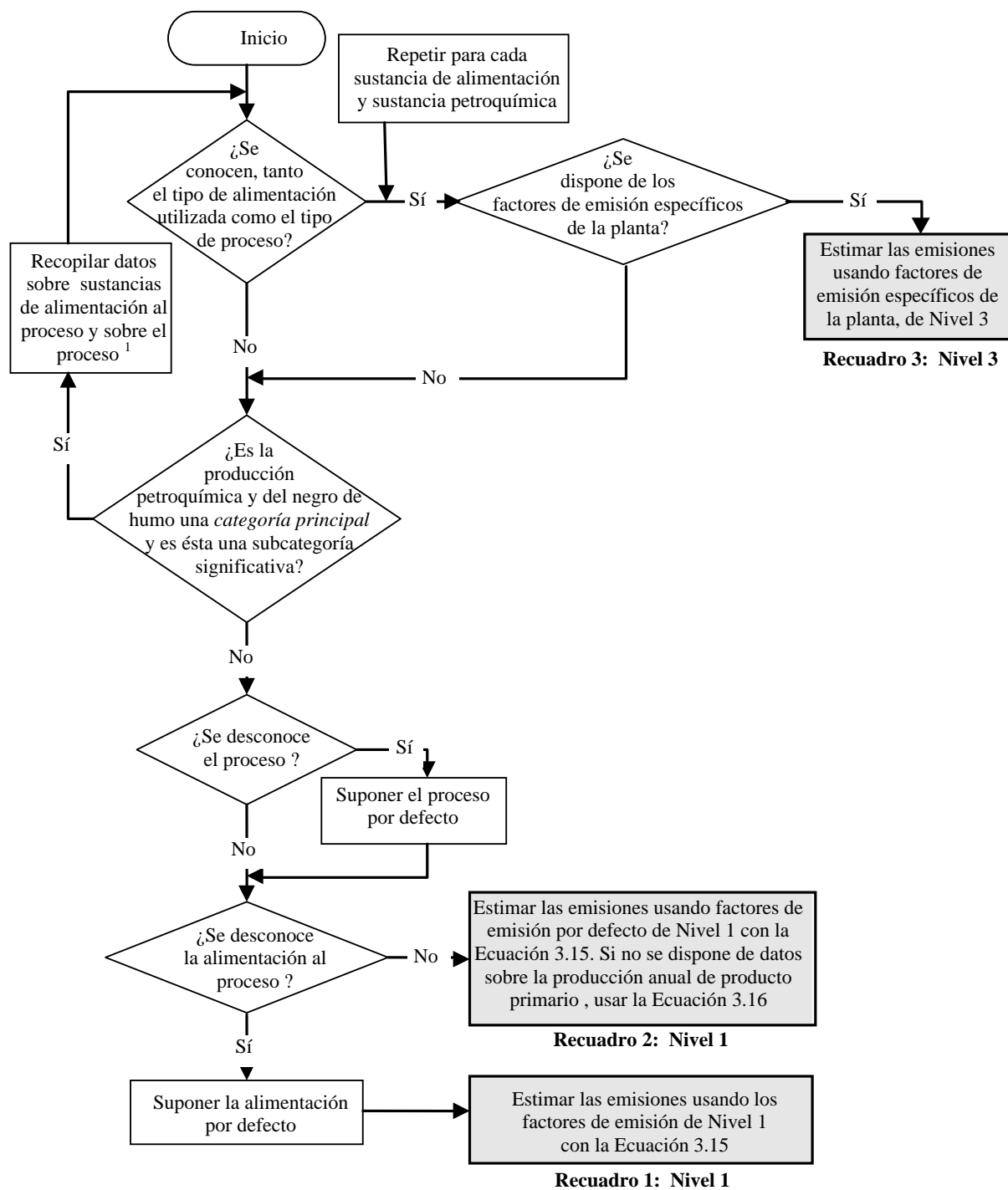


Nota

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



**Figura 3.9**      **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de la industria petroquímica y de la industria del negro de humo**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).
2. Nótese que no hay un método de Nivel 2 para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub>. El método de Nivel 2 es un método de balance de masas de carbono para el total de la alimentación al proceso, que es aplicable para estimar las emisiones totales de carbono (CO<sub>2</sub>), pero no para las emisiones de CH<sub>4</sub>.

La metodología de Nivel 3 puede usarse para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> y de CH<sub>4</sub> al nivel de plantas. El método de Nivel 3 está sujeto a la disponibilidad de datos específicos de planta para el proceso petroquímico. La metodología de Nivel 2 corresponde a un enfoque de equilibrio de masas que es aplicable para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> pero que no es aplicable para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub>. Al emplear la metodología de Nivel 2, los flujos de carbono tanto de la alimentación primaria como secundaria al proceso, están incluidos en el cálculo del equilibrio de masas. El uso de combustibles primarios puede implicar la combustión de una parte del contenido de hidrocarburo para aumentar el calor y producir combustibles secundarios (p. ej., descargas

gaseosas). Para aplicar la metodología de Nivel 2 se deben caracterizar los flujos de alimentación primaria y secundaria al proceso y los flujos de productos primarios y secundarios, así como se deben caracterizar los flujos de los productos derivados que se queman para recuperar energía dentro del proceso y los flujos de productos derivados que se transfieren fuera del proceso.

## DIÓXIDO DE CARBONO

El árbol de decisión para la elección del método para las emisiones de CO<sub>2</sub> se muestra en la Figura 3.8. Los métodos de Nivel 1, 2 y 3 se describen en esta sección.

### Método de Nivel 1 para el factor de emisión basado en el producto

La metodología del factor de emisión de Nivel 1 se aplica para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> del proceso petroquímico en los casos en que no se dispone de datos específicos de planta ni de datos de la actividad sobre los flujos de carbono para el proceso petroquímico. El método del factor de emisión de Nivel 1 no requiere datos de la actividad sobre el consumo de cada alimentación que contiene carbono para el proceso de producción petroquímico. Éste requiere solamente datos de la actividad sobre la cantidad de producto producido. La metodología de Nivel 1 no considera el carbono contenido de las emisiones de monóxido de carbono o de COVDM que pueden generarse en los procesos petroquímicos. Las ecuaciones de esta sección para el proceso de producción petroquímico se aplican también a la producción de negro de humo.

En el método de Nivel 1, las emisiones provenientes de los procesos petroquímicos se calculan sobre la base de los datos de la actividad sobre la producción de cada sustancia petroquímica y el factor de emisión específico del proceso para cada sustancia, como se muestra en la Ecuación 3.15 para la producción de cada producto petroquímico primario (p. ej., metanol, etileno, dicloruro de etileno, óxido de etileno, acrilonitrilo) y del negro de humo.

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 3.15} \\ &\text{CÁLCULO DE LA EMISIÓN DE CO}_2 \text{ DE NIVEL 1} \\ &ECO_{2i} = PP_i \bullet EF_i \bullet GAF / 100 \end{aligned}$$

Donde:

ECO<sub>2i</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de la sustancia petroquímica *i*, toneladas

PP<sub>i</sub> = producción anual de la sustancia petroquímica primaria *i*, toneladas

EF<sub>i</sub> = factor de emisión de CO<sub>2</sub> para la sustancia petroquímica *i*, toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de producto producido

GAF = factor de ajuste geográfico (del inglés, *Geographic Adjustment Factor* (para el factor de emisión de CO<sub>2</sub> de Nivel 1 para la producción de etileno, véase Cuadro 3.15), porcentaje

Los factores de emisión de CO<sub>2</sub> para la producción de etileno (discutidos en la Sección 3.9.2.2) se han calculado basándose en los datos para los fraccionadores al vapor del etileno que operan en Europa Occidental. Los factores de ajuste geográfico (GAF) se aplican al factor de emisión de Nivel 1 para dar cuenta de la variabilidad regional de la eficiencia de los fraccionadores al vapor. Los factores de ajuste geográfico son aplicables sólo a la producción de etileno.

Si no se dispone de datos sobre la producción anual de productos primarios, la producción de producto primario puede estimarse del consumo de sustancias de alimentación al proceso, como se muestra en la Ecuación 3.16.

$$\begin{aligned} &\text{ECUACIÓN 3.16} \\ &\text{CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTO PRIMARIO} \\ &PP_i = \sum_k (FA_{i,k} \bullet SPP_{i,k}) \end{aligned}$$

Donde:

PP<sub>i</sub> = producción anual de la sustancia petroquímica primaria *i*, toneladas

FA<sub>i,k</sub> = consumo anual de la sustancia de alimentación a procesos *k*, para producir la sustancia petroquímica *i*, toneladas

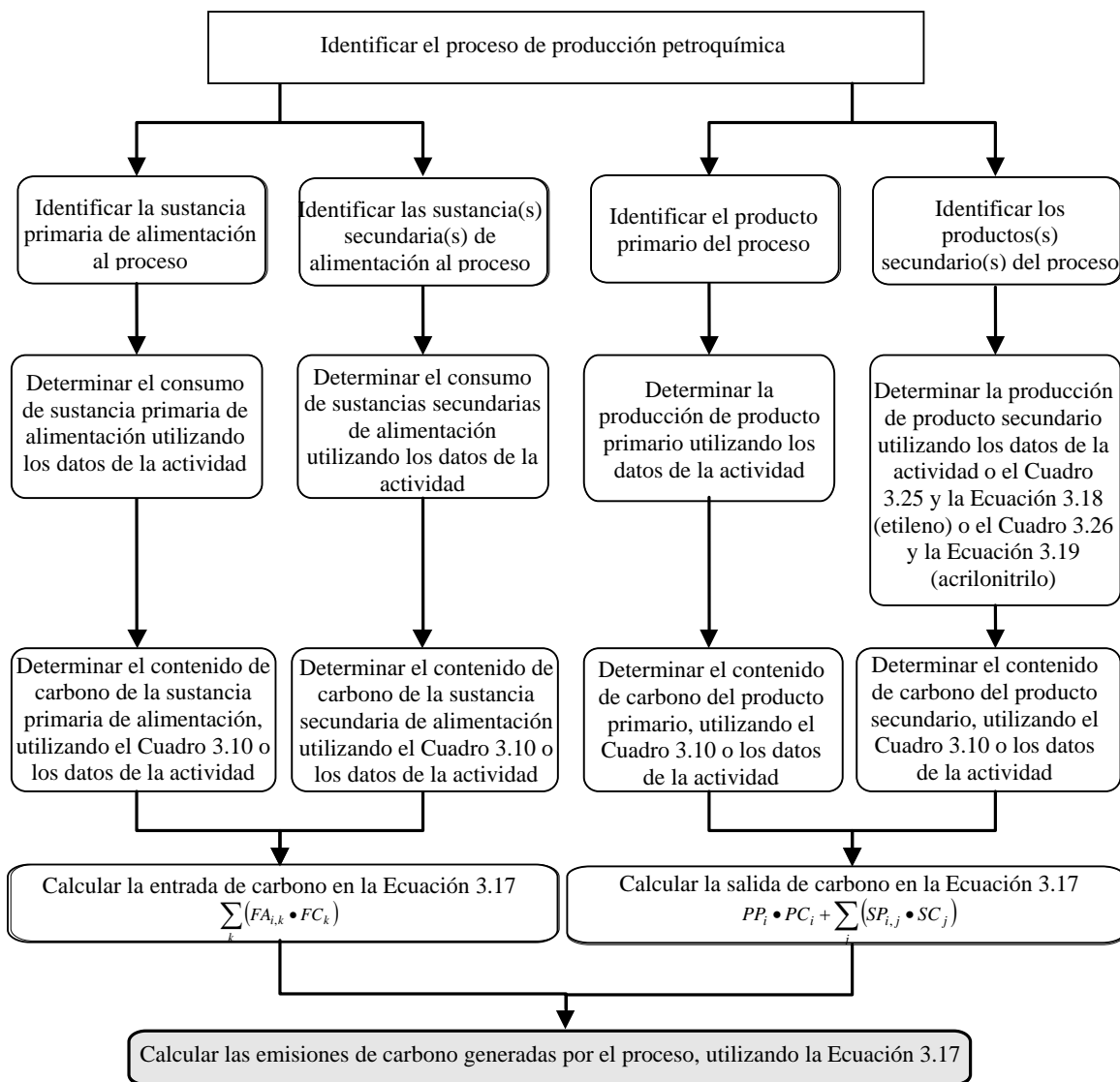
SPP<sub>i,k</sub> = factor de producción específico del producto primario para la sustancia petroquímica *i* y para la sustancia de alimentación a procesos *k*, toneladas de producto primario/tonelada de sustancia de alimentación consumida

A cada una de las sustancias de alimentación para cada proceso petroquímico se aplica separadamente, ya sea la Ecuación 3.15, o bien ambas, Ecuación 3.15 y Ecuación 3.16. En el caso de la estimación de emisiones de Nivel 1 que se muestra en el Recuadro 1 de la Figura 3.8, se utilizará la Ecuación 3.15, mientras que para la estimación de emisiones que se muestra en el Recuadro 2 de la Figura 3.8, se utilizará, ya sea la Ecuación 3.15, o bien ambas, la 3.16 y la 3.15. La Ecuación 3.15 se utilizará sola en los casos en que se disponga de los datos sobre la producción anual de producto primario para el proceso petroquímico. En los casos en que no se disponga de datos sobre la producción anual de producto primario, pero en que se disponga de datos sobre el consumo de sustancias de alimentación al proceso petroquímico, para estimar la producción anual de productos primarios se utilizará la Ecuación 3.16 y esta estimación será aplicada luego a la Ecuación 3.15 para estimar las emisiones.

**Método del balance de carbono de Nivel 2 para el total de alimentación al proceso**

El método de Nivel 2 corresponde a un enfoque de balance de carbono específico de la alimentación al proceso y específico del proceso. Este enfoque es aplicable en los casos en que se disponga de datos de la actividad, a la vez sobre el consumo de sustancias de alimentación y sobre la producción y disposición de productos primarios y secundarios. Para implementar la metodología de Nivel 2 se requieren datos de la actividad sobre todos los flujos de carbono. Los ejemplos de diagramas de flujo de procesos que ilustran los flujos de sustancias de alimentación y de productos para los procesos de producción del metanol, dicloruro de etileno, óxido de etileno, acrilonitrilo y negro de humo se incluyen en un Anexo de la Sección 3.9. Para la producción de etileno por el proceso de escisión al vapor, el número de sustancias de alimentación y de productos es tal que el proceso se ilustra mejor mediante una matriz alimentación-producto que mediante un diagrama de flujo del proceso. La matriz alimentación-producto para la producción de etileno se incluye en el Cuadro 3.25 de la Sección 3.9.2.3. En la Figura 3.10 se muestra un diagrama de flujo del método de Nivel 2.

**Figura 3.10 Diagrama de flujo del equilibrio de masas de carbono de Nivel 2**



En el método de Nivel 2 se calcula la diferencia entre la cantidad total de carbono que entra en el proceso de producción como alimentación primaria y secundaria y la cantidad de carbono que sale del proceso en forma de productos petroquímicos. La diferencia entre el contenido de carbono de la alimentación primaria y secundaria y el contenido de carbono de los productos primarios y secundarios producidos por el proceso, y recuperados del mismo proceso, se calcula como CO<sub>2</sub>. La metodología del equilibrio de masas de Nivel 2 se basa en la hipótesis de que todo el carbono de entrada al proceso se convierte, ya sea en productos primarios y secundarios, o bien en CO<sub>2</sub>. Esto significa que se supone que todo carbono de entrada al proceso que se convierte en CO, CH<sub>4</sub> o COVDM se considera como CO<sub>2</sub> para los efectos de los cálculos del equilibrio de masas.

La ecuación general de equilibrio de masas para la metodología de Nivel 2 es la Ecuación 3.17.

**ECUACIÓN 3.17**  
**ECUACIÓN GENERAL DE EQUILIBRIO DE MASAS DE NIVEL 2**

$$ECO2_i = \left\{ \sum_k (FA_{i,k} \cdot FC_k) - \left[ PP_i \cdot PC_i + \sum_j (SP_{i,j} \cdot SC_j) \right] \right\} \cdot 44/12$$

Donde:

ECO<sub>2i</sub> = emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de la sustancia petroquímica *i*, toneladas

FA<sub>i,k</sub> = consumo anual de la sustancia de alimentación *k* para producir la sustancia petroquímica *i*, toneladas

FC<sub>k</sub> = contenido de carbono de la sustancia de alimentación *k*, toneladas de C/tonelada de sustancia de alimentación a procesos

PP<sub>i</sub> = producción anual de producto petroquímico primario *i*, toneladas

PC<sub>i</sub> = contenido de carbono del producto petroquímico primario *i*, toneladas de C/tonelada de producto

SP<sub>i,j</sub> = cantidad anual de producto secundario *j* producido en el proceso de producción del producto petroquímico *i*, toneladas [El valor de SP<sub>i,j</sub> es cero para los procesos del metanol, dicloruro de etileno, óxido de etileno y negro de humo porque en éstos no se producen productos secundarios. Para calcular los valores de SP<sub>i,j</sub> para la producción de etileno y acrilonitrilo, véanse más abajo las Ecuaciones 3.18 y 3.19 sobre la producción de productos secundarios]

SC<sub>j</sub> = contenido de carbono del producto secundario *j*, toneladas de C/tonelada de producto

En el caso de la producción de etileno y acrilonitrilo, el proceso produce tanto productos primarios como secundarios. Si no se dispone de datos de la cantidad de productos secundarios producidos por estos procesos, la cantidad de productos secundarios puede estimarse mediante la aplicación de valores por defecto para el consumo de sustancias primarias de alimentación al proceso, como se muestra en las Ecuaciones 3.18 y 3.19:

**ECUACIÓN 3.18**  
**ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS SECUNDARIOS A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN DEL PRODUCTO PRIMARIO [ETILENO]**

$$SP_{etileno,j} = \sum_k (FA_{etileno,k} \cdot SSP_{j,k})$$

Donde:

SP<sub>etileno,j</sub> = producción anual de producto secundario *j* a partir de la producción de etileno, toneladas

FA<sub>etileno,k</sub> = consumo anual de la sustancia de alimentación *k* consumida para la producción de etileno, toneladas

SSP<sub>j,k</sub> = factor de producción específico del producto secundario para el producto secundario *j* y para la sustancia de alimentación *k*, toneladas de producto secundario/tonelada de sustancia de alimentación a proceso consumida

**ECUACIÓN 3.19**  
**ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS SECUNDARIOS A PARTIR DE LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTO PRIMARIO [ACRILONITRILO]**

$$SP_{\text{acrilonitrilo},j} = \sum_k (FP_{\text{acrilonitrilo},k} \cdot SSP_{j,k})$$

Donde:

$SP_{\text{acrilonitrilo},j}$  = producción anual de producto secundario  $j$  de la producción de acrilonitrilo, toneladas

$FP_{\text{acrilonitrilo},k}$  = producción anual de acrilonitrilo a partir de la sustancia de alimentación  $k$ , toneladas

$SSP_{j,k}$  = factor de producción específico del producto secundario para el producto secundario  $j$  y para la sustancia de alimentación  $k$ , toneladas de producto secundario/tonelada de acrilonitrilo producido

Nota: Se prevé que en la mayoría de los casos se utilice sólo una sustancia de alimentación (propileno) para la producción de acrilonitrilo.

**Contenido de carbono de las sustancias de alimentación y de los productos**

El contenido de carbono de las sustancias de alimentación y de los productos de los procesos de producción petroquímicos se enumera en el Cuadro 3.10, en unidades de toneladas de carbono por tonelada de sustancia de alimentación o de producto. El contenido de carbono de las sustancias puras (p. ej., el metanol) se calcula con la fórmula química. El contenido de carbono de otras sustancias de alimentación y de otros productos (p. ej., sustancias de alimentación para el negro de humo, negro de humo) se estima a partir de las fuentes bibliográficas. El contenido de carbono representativo de los combustibles fósiles (p. ej., gas natural, nafta) puede consultarse en el Cuadro 1.3, del Capítulo 1, Volumen 2: Energía; sin embargo, el contenido de carbono de los combustibles fósiles varía según el país y la región y es mejor obtenerlo de las estadísticas nacionales sobre energía o de las especificaciones de los productos combustibles fósiles o de las normas nacionales.

**Estimación directa de las emisiones específicas de planta de Nivel 3**

El método de *buena práctica* más riguroso es el de utilizar datos específicos de la planta para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de los procesos de producción petroquímicos. Para aplicar el método de Nivel 3 se requieren datos y/o mediciones específicos de la planta. Las emisiones provenientes del proceso de producción petroquímico incluyen el CO<sub>2</sub> emitido por los combustibles o los productos derivados de los procesos al quemarse para proveer calor o energía térmica al proceso de producción, el CO<sub>2</sub> emitido por los venteos en los procesos y el CO<sub>2</sub> emitido por la quema de gases de desecho en la antorcha. Estas misiones se calculan mediante las Ecuaciones 3.20 hasta 3.22.

Las emisiones globales de CO<sub>2</sub> del proceso de producción petroquímico se calculan mediante la Ecuación 3.20

**ECUACIÓN 3.20**  
**ECUACIÓN DE NIVEL 3 PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>**

$$ECO2_i = E_{\text{combustión},i} + E_{\text{venteo del proceso},i} + E_{\text{quema en antorcha},i}$$

Donde:

$ECO2_i$  = emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de la sustancia petroquímica  $i$ , toneladas

$E_{\text{combustión},i}$  = CO<sub>2</sub> emitido por el combustible o los productos derivados del proceso quemados para proveer calor o energía térmica al proceso de producción del producto petroquímico  $i$ , toneladas

$E_{\text{venteo del proceso},i}$  = CO<sub>2</sub> emitido por los venteos del proceso durante la producción del producto petroquímico  $i$ , toneladas

$E_{\text{quema en antorcha},i}$  = CO<sub>2</sub> emitido por la quema en antorcha de los gases de desecho del proceso durante la producción del producto petroquímico  $i$ , toneladas

$E_{\text{combustión}}$  y  $E_{\text{quema en antorcha}}$  están dados por las Ecuaciones 3.21 y 3.22, para las cuales deben utilizarse datos específicos de la planta o valores calóricos netos nacionales. El factor de emisión viene dado por el contenido de carbono del combustible, el factor de oxidación de la combustión y una constante (44/12) que convierte el resultado de carbono en CO<sub>2</sub>. Si no se conoce el factor de emisión, puede encontrarse un valor por defecto en el Cuadro 1.4, en el Capítulo 1 del Volumen 2. Energía. Los valores calóricos netos se incluyen en el Cuadro 1.2, en el Capítulo 1 del Volumen 2: Energía. Los contenidos en carbono se incluyen en el Cuadro 1.3, en el Capítulo

1 del Volumen 2: Energía. Para los conteos del proceso, los compiladores del inventario deben medir y/o estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> directamente y, en consecuencia, no se provee otra ecuación.

**ECUACIÓN 3.21**  
**CÁLCULO DE NIVEL 3 PARA LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DE LA QUEMA DE COMBUSTIBLE**

$$E_{\text{combustión},i} = \sum_k (FA_{i,k} \cdot VCN_k \cdot EF_k)$$

Donde:

FA<sub>i,k</sub> = cantidad de combustible *k* consumido para producir el producto petroquímico *i*, toneladas

VCN<sub>k</sub> = valor calórico neto del combustible *k*, TJ/tonelada

(Nota: En el Cuadro 1.2 del Capítulo 1 del Volumen 2, los valores caloríficos netos están expresados en TJ/kg.)

EF<sub>k</sub> = factor de emisión de CO<sub>2</sub> del combustible *k*, toneladas de CO<sub>2</sub>/TJ

(Nota: En el Cuadro 1.4 del Capítulo 1 del Volumen 2, los factores de emisión de CO<sub>2</sub> están expresados en kg./TJ)

**ECUACIÓN 3.22**  
**CÁLCULO DE NIVEL 3 PARA LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DE LA QUEMA EN ANTORCHA**

$$E_{\text{quema en antorcha},i} = \sum_k (FG_{i,k} \cdot VCN_k \cdot EF_k)$$

Donde:

FG<sub>i,k</sub> = cantidad de gas *k* quemado en antorcha durante la producción del producto petroquímico *i*, toneladas

VCN<sub>k</sub> = valor calórico neto del gas quemado en antorcha *k*, TJ/tonelada

(Nota: En el Cuadro 1.2 del Capítulo 1 del Volumen 2, los valores caloríficos netos están expresados en TJ/kg.)

EF<sub>k</sub> = factor de emisión de CO<sub>2</sub> del gas quemado en antorcha *k*, toneladas de CO<sub>2</sub>/TJ

(Nota: En el Cuadro 1.4 del Capítulo 1 del Volumen 2, los factores de emisión de CO<sub>2</sub> están expresados en kg./TJ)

<b>CUADRO 3.10</b> <b>CONTENIDO ESPECÍFICO EN CARBONO DE LAS SUSTANCIAS PETROQUÍMICAS DE ALIMENTACIÓN AL PROCESO Y DE LOS PRODUCTOS</b>	
<b>Sustancia</b>	<b>Carbono (tonelada de carbono por tonelada de sustancia de alimentación o de producto)</b>
Acetonitrilo	0,5852
Acilonitrilo	0,6664
Butadieno	0,888
Negro de humo	0,970
Sustancia de alimentación al proceso del negro de humo	0,900
Etano	0,856
Etileno	0,856
Dicloruro de etileno	0,245
Glicol de etileno	0,387
Óxido de etileno	0,545
Cianuro de hidrógeno	0,4444
Metanol	0,375
Metano	0,749
Propano	0,817

<b>CUADRO 3.10</b> <b>CONTENIDO ESPECÍFICO EN CARBONO DE LAS SUSTANCIAS PETROQUÍMICAS DE ALIMENTACIÓN AL PROCESO Y DE LOS PRODUCTOS</b>	
<b>Sustancia</b>	<b>Carbono (tonelada de carbono por tonelada de sustancia de alimentación o de producto)</b>
Propileno	0,8563
Monómero de cloruro de vinilo	0,384
Nota: El contenido de carbono del gas natural y de la nafta varía según el país y la región. Los valores calóricos netos (VCN) para el gas natural, la nafta y otros combustibles primarios que puedan utilizarse como sustancias de alimentación a procesos petroquímicos se incluyen en el Cuadro 1.2 en el Capítulo 1 del Volumen 2: Energía. Los contenidos en carbono para las sustancias de alimentación a proceso se incluyen en el Cuadro 1.3 del Capítulo 1, Volumen 2: Energía.	

## METANO

El árbol de decisión para la elección del método para las emisiones de CH<sub>4</sub> se muestra en la Figura 3.9. Los métodos de Nivel 1, 2 y 3 para el CH<sub>4</sub> se describen en esta sección. No existe un método de Nivel 2 aplicable a las emisiones de CH<sub>4</sub>.

### Método de Nivel 1 para el factor de emisión basado en el producto

Las emisiones de CH<sub>4</sub> de los procesos petroquímicos pueden corresponder a emisiones fugitivas y/o a emisiones provenientes de los venteos del proceso. Las emisiones fugitivas se emiten en las bridas, válvulas y otros equipos del proceso. Las emisiones provenientes de fuentes de venteo de proceso incluyen la combustión incompleta de los gases de desecho en la antorcha y los sistemas de recuperación de energía. En el método de Nivel 1, las emisiones de CH<sub>4</sub> pueden calcularse mediante la Ecuación 3.23 para emisiones fugitivas de CH<sub>4</sub>, la Ecuación 3.24 para emisiones de venteo de proceso y la Ecuación 3.25 para las emisiones totales de CH<sub>4</sub>. En los casos en que no se disponga de datos sobre la producción anual de producto primario, pero sí de datos sobre el consumo de sustancias de alimentación al proceso petroquímico, para estimar la producción anual de productos primarios se utilizará la Ecuación 3.16 y esta estimación será aplicada luego en las Ecuaciones 3.23 y 3.24 para estimar las emisiones.

#### ECUACIÓN 3.23 CÁLCULO DE NIVEL 1 PARA LA EMISIÓN FUGITIVA DE CH<sub>4</sub>

$$ECH4_{fugitivas,i} = PP_i \cdot EFf_i$$

#### ECUACIÓN 3.24 CÁLCULO DE NIVEL 1 PARA LA EMISIÓN DE CH<sub>4</sub> DEL VENTEO DE PROCESO

$$ECH4_{venteos\ de\ proceso,i} = PP_i \cdot EFP_i$$

#### ECUACIÓN 3.25 CÁLCULO DE NIVEL 1 PARA EL TOTAL DE EMISIONES DE CH<sub>4</sub>

$$ECH4_{total,i} = ECH4_{fugitivas,i} + ECH4_{venteos\ de\ proceso,i}$$

Donde:

$ECH4_{total,i}$  = emisiones totales de CH<sub>4</sub> de la producción del producto petroquímico  $i$ , kg.

$ECH4_{fugitivas,i}$  = emisiones fugitivas de CH<sub>4</sub> de la producción del producto petroquímico  $i$ , kg.

$ECH4_{venteos\ de\ proceso,i}$  = emisiones de CH<sub>4</sub> del venteo de proceso de la producción del producto petroquímico  $i$ , kg.

$PP_i$  = producción anual de producto petroquímico  $i$ , toneladas

$EFf_i$  = factor de emisión de CH<sub>4</sub> fugitivo para el producto petroquímico  $i$ , kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de producto

$EFP_i$  = factor de emisión de CH<sub>4</sub> de los venteos de proceso para el producto petroquímico  $i$ , kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de producto

## Método del balance de carbono de Nivel 2 para el total de alimentación al proceso

El método de equilibrio de masas de carbono para el total de sustancias de alimentación al proceso no es aplicable a la estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub>. El método del balance de la masa total de carbono permite estimar las emisiones totales de carbono de los procesos pero no proporciona directamente una estimación de la cantidad del total de las emisiones de carbono que son emitidas como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO o COVDM.

## Estimación directa de las emisiones específicas de planta de Nivel 3

El método de Nivel 3 se basa en mediciones continuas o periódicas específicas de plantas. Las emisiones provenientes del proceso de producción petroquímico incluyen el CH<sub>4</sub> emitido por los combustibles o los productos derivados de los procesos al quemarse para proveer calor o energía térmica al proceso de producción, el CH<sub>4</sub> emitido por los venteos en los procesos y el CH<sub>4</sub> emitido por la quema de gases de desecho en antorcha. Si el metano se ventea directamente hacia la atmósfera, éste dominará entre las emisiones. Las emisiones de CH<sub>4</sub> de los venteos de procesos pueden también quemarse en la antorcha o en dispositivos de recuperación de energía. Las mediciones de la concentración atmosférica de compuestos orgánicos volátiles (COV) directamente por encima de las plantas o en la columna de venteo constituyen los datos de la actividad preferidos para estimar las emisiones fugitivas de CH<sub>4</sub>; sin embargo, tales datos pueden no estar disponibles. Las mediciones atmosféricas son generalmente caras y con frecuencia no son continuas sino, más bien un programa discreto y periódico destinado obtener datos que servirán de base para el desarrollo de factores de emisión específicos de las plantas. Los resultados de tales programas de medición serán luego puestos en relación con otros parámetros de los procesos de la planta para permitir la estimación de emisiones en los períodos entre las mediciones.

Para obtener datos de la actividad específicos de las plantas y desarrollar las estimaciones de emisiones de CH<sub>4</sub> de Nivel 3, se puede implementar también un programa completo de detección de fugas mediante la medición directa de las concentraciones de COV y CH<sub>4</sub> en las corrientes de gases de escape de la planta y la medición directa de las emisiones fugitivas de COV y CH<sub>4</sub> desde las válvulas, conexiones y otros equipos relacionados. Sin embargo, el programa de detección de fugas específico de plantas debe proporcionar datos sobre las emisiones fugitivas de CH<sub>4</sub> para todos los equipos pertinentes que emiten CH<sub>4</sub> en las plantas. Por igual, para aportar una base a los cálculos de emisiones de Nivel 3, los datos sobre las mediciones específicos de la planta para las chimeneas y respiraderos de venteo deben cubrir las fuentes de emisiones de CH<sub>4</sub> de la mayoría de las chimeneas y los respiraderos de la planta.

Las emisiones de CH<sub>4</sub> desde las chimeneas y respiraderos de procesos pueden estimarse a través de mediciones directas de la concentración de CH<sub>4</sub> en los gases de escape, o bien, pueden estimarse como componente de la concentración total de COV medida en el gas de escape. Las emisiones fugitivas de CH<sub>4</sub> desde los equipos de la planta (p. ej., válvulas, conexiones) pueden estimarse mediante la aplicación de datos de detección de fugas específicos y de los inventarios de equipos de la planta, siempre y cuando el programa de detección de fugas específico de la planta y el inventario de equipos sean cabales, de modo que el programa proporcione datos sobre las emisiones fugitivas de CH<sub>4</sub> para todos los equipos pertinentes que emiten CH<sub>4</sub> en la planta. Análogamente, para aportar una base a los cálculos de emisiones de Nivel 3, los datos sobre las mediciones específicos de la planta para las chimeneas y respiraderos de venteo deben cubrir las fuentes de emisiones de CH<sub>4</sub> de la mayoría de las chimeneas y los respiraderos de la planta.

La medición de las emisiones fugitivas pueden basarse también en la concentración de CH<sub>4</sub> en la atmósfera directamente por encima de la planta o en una columna de venteo en la dirección del viento. En general, este tipo de datos de mediciones atmosféricas miden las emisiones provenientes de toda la planta y no permiten discriminar las diferentes fuentes. Además de la concentración de CH<sub>4</sub>, deben medirse el área de la columna de venteo y la velocidad del viento. Las emisiones están dadas por la Ecuación 3.26.

**ECUACIÓN 3.26**  
**CÁLCULO DE NIVEL 3 DE LAS EMISIONES DE CH<sub>4</sub>**  
**BASADO EN DATOS DE MEDICIONES ATMOSFÉRICAS**

$$CH_4_{emisiones} = \int_t \left[ (C_{total\ de\ COV} \cdot CH_4\ fracción - CH_4\ nivel\ de\ entorno) \cdot WS \cdot PA \right]$$

Donde:

CH<sub>4</sub> emisiones = total de emisiones de CH<sub>4</sub> de la planta, µg/s

C<sub>total de COV</sub> = concentración de COV en la planta, µg/m<sup>3</sup>

CH<sub>4</sub> fracción = fracción de la concentración total de COV que es CH<sub>4</sub>, fracción

CH<sub>4</sub> nivel de entorno = concentración ambiente de CH<sub>4</sub> en la zona de entorno, µg/m<sup>3</sup>



WS = velocidad del viento en la planta, m/s

PA = área de la columna de venteo, m<sup>2</sup>

Nota:  $\int_t$  significa que la cantidad debe sumarse a lo largo del tiempo.

Nótese que la metodología de Nivel 3 no obliga a los compiladores del inventario a realizar mediciones atmosféricas u otros tipos específicos de mediciones directas para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> específicas de las instalaciones. Se prevé que los datos específicos de la planta de detección de fugas y los de las emisiones provenientes de las chimeneas y respiraderos de venteo estarán disponibles más fácilmente que los datos de la medición atmosférica. Sin embargo, si se dispone de datos de mediciones atmosféricas, se los puede utilizar para desarrollar estimaciones de Nivel 3 para las emisiones de CH<sub>4</sub> o para verificar otras estimaciones. Los datos de mediciones atmosféricas pueden aportar estimaciones más exactas de las emisiones de CH<sub>4</sub> de los procesos que los datos de detección de fugas y de emisiones provenientes de chimeneas y respiraderos. Para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub>, la planta debe utilizar ya sea, i) Ecuación 3.26, o bien ii) Ecuaciones 3.27, 3.28 y 3.29. Se supone que las emisiones provenientes de venteos de procesos son monitoreadas de manera discreta o continua. El método de cálculo varía según el tipo de datos y, por lo tanto, no se presenta una ecuación aparte para el cálculo de las emisiones provenientes del venteo del proceso.

Las emisiones globales de CH<sub>4</sub> de los procesos de producción sustancias petroquímicas basadas en datos de detección de fugas específicos de la planta y de emisiones en chimeneas y respiraderos de venteo se calculan mediante la Ecuación 3.27

**ECUACIÓN 3.27**  
**ECUACIÓN DE NIVEL 3 PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE CH<sub>4</sub>**

$$ECH4_i = E_{\text{combustión},i} + E_{\text{venteo de proceso},i} + E_{\text{quema en antorcha},i}$$

Donde:

$ECH4_i$  = emisiones totales de CH<sub>4</sub> de la producción del producto petroquímico  $i$ , kg.

$E_{\text{combustión},i}$  = CO<sub>2</sub> emitido por el combustible o los productos derivados del proceso quemados para proveer calor o energía térmica al proceso de producción del producto petroquímico  $i$ , toneladas

$E_{\text{venteo de proceso},i}$  = emisiones de CH<sub>4</sub> del venteo de proceso durante la producción del producto petroquímico  $i$ , kg.

$E_{\text{quema en antorcha},i}$  = emisiones de CH<sub>4</sub> por la quema en antorcha de los gases de desecho durante la producción del producto petroquímico  $i$ , kg.

$E_{\text{combustión}}$  y  $E_{\text{quema en antorcha}}$  están dados por las Ecuaciones 3.28 y 3.29, para las cuales deben utilizarse datos específicos de la planta o valores calóricos netos nacionales.

**ECUACIÓN 3.28**  
**CÁLCULO DE NIVEL 3 PARA LAS EMISIONES DE CH<sub>4</sub> DE LA QUEMA DE COMBUSTIBLE**

$$E_{\text{combustión},i} = \sum_k (FA_{i,k} \cdot VCN_k \cdot EF_k)$$

Donde:

$FA_{i,k}$  = cantidad de combustible  $k$  consumido para producir el producto petroquímico  $i$ , toneladas

$VCN_k$  = valor calórico neto del combustible  $k$ , TJ/tonelada

(Nota: En el Cuadro 1.2 en el Capítulo 1 del Volumen 2, los valores calóricos netos están expresados en TJ/kg.)

$EF_k$  = factor de emisión de CH<sub>4</sub> del combustible  $k$ , kg./TJ

**ECUACIÓN 3.29**  
**CÁLCULO DE NIVEL 3 PARA LAS EMISIONES DE CH<sub>4</sub> DE LA QUEMA EN ANTORCHA**

$$E_{\text{quema en antorcha},i} = \sum_k (FG_{i,k} \cdot VCN_k \cdot EF_k)$$

Donde:

$FG_{i,k}$  = cantidad de gas  $k$  quemado en antorcha durante la producción del producto petroquímico  $i$ , toneladas

$VCN_k$  = valor calórico neto del gas quemado en antorcha  $k$ , TJ/tonelada  
(Nota: En el Cuadro 1.2 del Capítulo 1 del Volumen 2, los valores calóricos netos están expresados en TJ/kg.)

$EF_k$  = factor de emisión de  $CH_4$  del gas quemado en antorcha  $k$ , kg./TJ

### 3.9.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

En esta sección se incluye un análisis sobre la elección de los factores de emisión para el método de Nivel 1. El método de Nivel 2 se basa en principios de equilibrio de masas y el método de Nivel 3, en datos específicos de plantas; por lo tanto no hay factores de emisión por defecto aplicables a los métodos de Nivel 2 y 3.

CUADRO 3.11 SUSTANCIAS DE ALIMENTACIÓN Y PROCESOS POR DEFECTO DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN PETROQUÍMICA		
Proceso petroquímico	Sustancia de alimentación por defecto	Proceso por defecto
Metanol	Gas natural	Reformado al vapor convencional sin unidad de reformado primaria
Etileno	Norteamérica, Sudáfrica, Australia - Etano Otros continentes - Nafta	Escisión al vapor Escisión al vapor
Dicloruro de etileno / monómero de cloruro de vinilo	Etileno	Proceso equilibrado para la producción de EDC con planta de producción de VCM integrada
Óxido de etileno	Etileno	Oxidación catalítica, proceso por aire, con tratamiento térmico
Acilonitrilo	Propileno	Amoxidación directa con quema de productos secundarios para recuperación de energía o en la antorcha
Negro de humo	Sustancia de alimentación para negro de humo y gas natural	Proceso del negro de horno con tratamiento térmico

#### NIVEL 1

Más abajo se presentan los factores de emisión de Nivel 1 para las emisiones de  $CO_2$  y  $CH_4$  correspondientes a los productos petroquímicos. Los factores de emisión de Nivel 1 para las emisiones de  $CO_2$  no incluyen el carbono emitido como  $CO$ ,  $CH_4$  ni  $CO_2$ . Se proveen factores de emisión de Nivel 1 aparte para las emisiones de  $CH_4$  procedentes de los procesos petroquímicos. No se proveen factores de emisión de Nivel 1 para las emisiones de monóxido de carbono ni para los  $CO_2$ .

El método de Nivel 1 permite seleccionar una sustancia de alimentación al proceso «por defecto» y un proceso «por defecto» en los casos en los que no se disponga de datos de la actividad para identificar la alimentación o el proceso utilizados para producir el producto petroquímico. En el Cuadro 3.11 se presentan las sustancias de alimentación por defecto y los procesos por defecto para cada proceso de producción de productos petroquímicos. Si no se dispone de datos de la actividad relativos a las alimentaciones y procesos específicos utilizados en un país para producir una sustancia petroquímica, para estimar las emisiones de  $CO_2$  del proceso de producción petroquímica, se emplean la alimentación por defecto y el proceso por defecto identificados en el Cuadro 3.11, así como los factores de emisión de Nivel 1 asociados e identificados en los cuadros subsiguientes de esta sección. Los factores de emisión específicos del país pueden utilizarse en lugar de los factores de emisión por defecto, si están disponibles.

#### Metanol

##### *Emisiones de dióxido de carbono*

Las emisiones de  $CO_2$  de la producción de metanol provenientes de los procesos de reformado al vapor o de la oxidación parcial pueden estimarse mediante la aplicación de los factores de emisión por defecto de la alimentación al proceso, o bien, de los factores de emisión específicos de la alimentación y de los procesos presentados en el Cuadro 3.12, a los datos de la actividad para la producción de metanol, la configuración del

proceso y la alimentación al proceso. Los factores de emisión por defecto se basan en el promedio de los datos sobre emisiones de CO<sub>2</sub> específicos de la planta declarados para cuatro plantas que usan el proceso de reformado al vapor convencional sin unidad de reformado primaria y que utilizan una alimentación de gas natural. Los datos sobre emisiones utilizados en el desarrollo del factor de emisión de CO<sub>2</sub> por defecto fueron declarados para plantas de metanol que usan el proceso convencional en Nueva Zelanda, Chile, Canadá y los Países Bajos. Los factores de emisión del cuadro incluyen tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan desde la alimentación al proceso como las emisiones de CO<sub>2</sub> que se generan en la quema de las sustancias de alimentación dentro del proceso de reformado al vapor. En el Cuadro 3.13 se resume el consumo total de sustancias de alimentación, en unidades de GJ/tonelada de metanol producido, para las diversas configuraciones de los procesos de producción de metanol indicados en el Cuadro 3.12.

El proceso de reformado convencional puede incluir una sola o dos unidades de reformado de reformado, una primaria y otra secundaria. Los factores de emisión difieren según la cantidad de unidades de reformado. Lurgi es un proveedor de tecnología de producción de metanol y ha publicado los factores de emisión para varias tecnologías de procesos de reformado convencional; véase Cuadro 3.12. La capacidad de producción de las plantas de mega metanol es generalmente superior a las 5 000 toneladas diarias de metanol. Los factores de emisión para las tecnologías del proceso convencional de Lurgi deben aplicarse sólo si se conoce la tecnología específica del proceso. De lo contrario, debe aplicarse el factor de emisión para el reformado al vapor convencional sin unidad de reformado primaria, o el factor de emisión para el reformado convencional con unidad de reformado primaria.

El proceso de reformado al vapor convencional para la producción de metanol puede estar integrado con un proceso de producción de amoníaco. El factor de emisión para la producción integrada de metanol y amoníaco debería aplicarse sólo si se conoce la tecnología específica del proceso.

<b>CUADRO 3.12</b>						
<b>FACTORES DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> DE LA PRODUCCIÓN DE METANOL</b>						
		<b>Toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de metanol producido</b>				
<b>Configuración del proceso</b>	<b>Alimentación al proceso</b>	<b>Gas natural</b>	<b>Gas natural + CO<sub>2</sub></b>	<b>Petróleo</b>	<b>Carbón</b>	<b>Lignita</b>
Reformado al vapor convencional, sin unida de reformado primaria (a) (Proceso por defecto y Alimentación en gas natural por defecto)		0,67				
Reformado al vapor convencional, con unidad de reformado primaria (b)		0,497				
Reformado al vapor convencional, proceso convencional de Lurgi (c1)		0,385	0,267			
Reformado al vapor convencional, proceso de baja presión de Lurgi (c2)		0,267				
Reformado al vapor combinado, proceso combinado de Lurgi (c3)		0,396				
Reformado al vapor convencional, proceso Mega Metanol de Lurgi (c4)		0,310				
Proceso de oxidación parcial (d)				1,376	5,285	5,020
Reformado al vapor convencional con producción integrada de amoníaco		1,02				
<p><b>Proceso de alimentación de Gas natural + CO<sub>2</sub> basado en 0,2-0,3 toneladas de CO<sub>2</sub> de alimentación por tonelada de metanol</b></p> <p>Los factores de emisión de este cuadro se han calculado a partir de los valores de consumo de sustancias de alimentación del Cuadro 3.13, basándose en los siguiente contenidos de carbono de la alimentación al proceso y en los valores de calentamiento:</p> <p>Gas natural: 56 kg. CO<sub>2</sub>/GJ      48,0 GJ/tonelada</p> <p>Petróleo: 74 kg. CO<sub>2</sub>/GJ      42,7 GJ/tonelada</p> <p>Carbón: 93 kg. CO<sub>2</sub>/GJ      27,3 GJ/tonelada</p> <p>Lignita: 111 kg. CO<sub>2</sub>/GJ</p> <p>Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27</p>						
<p>Fuentes: (a) Struker, A, and Blok, K, 1995; Methanex, 2003: (b) Hinderink, 1996: (c1 – c4) Lurgi, 2004a; Lurgi, 2004b; Lurgi, 2004c: (d) FgH-ISI, 1999</p>						

CUADRO 3.13 FACTORES DE CONSUMO DE SUSTANCIAS DE ALIMENTACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE METANOL						
Configuración del proceso	Alimentación al proceso	GJ entrada de alimentación /tonelada de metanol producido				
		Gas natural	Gas natural + CO <sub>2</sub>	Petróleo	Carbón	Lignita
Reformado al vapor convencional, sin unidad de reformado primaria (a) (Proceso por defecto y alimentación en gas natural por defecto)		36,5				
Reformado al vapor convencional, con unidad de reformado primaria (b)		33,4	29,3			
Reformado al vapor convencional, proceso convencional de Lurgi (c1)		31,4				
Reformado al vapor convencional, proceso de baja presión de Lurgi (c1)		29,3				
Reformado al vapor combinado, proceso combinado de Lurgi (c3)		31,6				
Reformado al vapor convencional, proceso Mega Metanol de Lurgi (c4)		30,1				
Proceso de oxidación parcial (d)				37,15	71,6	57,6
<b>Proceso de alimentación de Gas natural + CO<sub>2</sub> basado en 0,2-0,3 toneladas de CO<sub>2</sub> de alimentación por tonelada de metanol</b>						
Fuentes: (a) Straker, A, and Blok, K, 1995; Methanex, 2003: (b) Hinderink, 1996: (c1 – c4) Lurgi, 2004a; Lurgi, 2004b; Lurgi, 2004c: (d) FgH-ISI, 1999						
Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27						

### **Emisiones de metano**

Methanex declaró emisiones de CH<sub>4</sub> para dos plantas canadienses de producción de metanol en su *1996 Climate Change Action Plan* (Plan de Acción sobre Cambio Climático de 1996) (Methanex, 1996). Methanex informó que las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de la producción de metanol pueden generarse en las unidades de reformado, en las calderas monobloque, en las unidades de destilación del metanol y en las cisternas de almacenamiento del metanol crudo. Las emisiones de CH<sub>4</sub> desde las plantas daban cuenta aproximadamente de un 0,5 por ciento a un 1,0 por ciento del total de emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de estas plantas, pero fueron declaradas como emisiones variables, según el nivel de mantenimiento y de control operacional de los equipos de la planta. El factor de emisión promedio declarado para dos años de informes es de 2,3 kg. de emisiones de CH<sub>4</sub> por tonelada de metanol producido. Se declaró que las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de una segunda planta de producción de metanol Methanex fueron de 0,15 kg. de CH<sub>4</sub> por tonelada de metanol producido. El mayor de estos de estos dos valores declarados, 2,3 kg. de CH<sub>4</sub> por tonelada de metanol producido, debe aplicarse como factor de emisión de CH<sub>4</sub> por defecto para la producción de metanol. Para la planta de metanol de Tjeldbergodden, Noruega, se han estimado emisiones de CH<sub>4</sub> tan bajas como 0,1 kg./tonelada (SFT, 2003a).

### **Etileno**

#### **Emisiones de dióxido de carbono**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la escisión al vapor para la producción de etileno pueden estimarse utilizando los factores de emisión específicos de las sustancias de alimentación al proceso, dadas en el Cuadro 3.14, y los datos de la actividad sobre la cantidad de etileno producido en los procesos de escisión al vapor. En el Cuadro 3.14 se proporcionan factores de emisión separados para las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del consumo de sustancias de alimentación y del consumo de energía complementaria en el proceso de escisión al vapor. Sin embargo, las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del consumo, tanto de sustancias de alimentación como de energía complementaria, deben declararse como emisiones provenientes de Procesos Industriales, según las convenciones de generación de informes discutidas más arriba. Los factores de emisión por defecto se derivan de los datos específicos de planta para los fraccionadores al vapor que operan en los países de Europa Occidental. Los factores de emisión pueden ajustarse mediante la aplicación de los factores de ajuste geográficos por defecto del Cuadro 3.15, con el fin de dar cuenta de las diferencias de eficiencia energética entre las unidades de escisión al vapor de los diferentes países y regiones. Nótese que, como se indica en el Cuadro 3.11, la alimentación por defecto para los fraccionadores al vapor que operan en América del Norte, América del Sur y Australia, es el etano, y que la alimentación por defecto para los fraccionadores al vapor que operan en otros continentes, es la nafta.

Estos factores de emisión por defecto no incluyen las emisiones de CO<sub>2</sub> de la quema en antorcha. Las emisiones provenientes de la quema en antorcha ascienden a un 7 por ciento del total de emisiones de una planta bien mantenida de Noruega. Se supone que los procesos de escisión al vapor que utilizan alimentaciones de nafta, propano y butano son energéticamente neutros y que no requieren combustibles complementarios; por ende, se

supone que no hay emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con el consumo de combustibles para estas sustancias de alimentación.

<b>CUADRO 3.14</b>						
<b>FACTORES DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE ETILENO POR ESCISIÓN AL VAPOR</b>						
	<b>Toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de etileno producido</b>					
<b>Sustancia de alimentación al proceso</b>	<b>Nafta</b>	<b>Gasóleo</b>	<b>Etano</b>	<b>Propano</b>	<b>Butano</b>	<b>Otro</b>
Etileno (Uso total del proceso y de la alimentación energética)	1,73	2,29	0,95	1,04	1,07	1,73
- Uso de la alimentación al proceso	1,73	2,17	0,76	1,04	1,07	1,73
- Uso de combustible complementario (alimentación energética)	0	0,12	0,19	0	0	0

Fuente: Neelis, M., Patel, M., and de Feber, M., 2003, Cuadro 2.3, Página 26.  
 Las alimentaciones por defecto para la producción de etileno están identificadas en el Cuadro 3.11. Los factores de emisión no incluyen el uso de combustible suplementario en la quema en antorcha.  
 Se supone que las otras sustancias de alimentación presentan los mismos rendimientos de producto que la alimentación de nafta.  
 Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27

Los factores de emisión del Cuadro 3.14 pueden emplearse si sólo se dispone de datos sobre la cantidad de etileno producido por el proceso de escisión al vapor. La escisión al vapor es un proceso multiproducto que genera etileno, propileno, butadieno, compuestos aromáticos y varios otros productos químicos de alto valor. En los factores de emisión del Cuadro 3.14, se supone una mezcla específica de productos que es inherente al proceso. La mezcla de productos por defecto para cada factor de emisión del Cuadro 3.14 se identifica en la matriz «alimentación-producto» para la escisión al vapor del etileno en la Sección 3.9.2.3. En la matriz «alimentación-producto» se identifican los valores por defecto para la producción de etileno, propileno y otros productos hidrocarburos del proceso de escisión al vapor, en unidades de kilogramos de cada producto producido por tonelada de sustancia de alimentación. Con el fin de desarrollar los factores de emisión para la escisión al vapor que se muestran en el Cuadro 3.14, el total de las emisiones de CO<sub>2</sub> del proceso se ha dividido solamente por la salida de etileno. En otros términos, se ha elegido el etileno como referencia para estimar el total de las emisiones de CO<sub>2</sub> del proceso de escisión al vapor considerado como un todo. La multiplicación de los factores de emisión del Cuadro 3.14 por la producción de etileno conduce, por lo tanto, al total de las emisiones de CO<sub>2</sub>, que resultan, no sólo de la producción de etileno, sino también de la producción de propileno, butadieno, compuestos aromáticos y todos los demás productos químicos producidos por el proceso de escisión al vapor. Los factores de emisión por defecto del Cuadro 3.14 proporcionan el total de las emisiones de CO<sub>2</sub> del proceso de escisión al vapor y no sólo las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la producción de etileno en este proceso.

<b>CUADRO 3.15</b>		
<b>FACTORES DE AJUSTE GEOGRÁFICO POR DEFECTO PARA LOS FACTORES DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE ETILENO POR EL PROCESO DE ESCISIÓN AL VAPOR</b>		
<b>Región geográfica</b>	<b>Factor de ajuste</b>	<b>Notas</b>
Europa Occidental	100%	Los valores del Cuadro 3.14 están basados en datos para fraccionadores al vapor de países de Europa Occidental
Europa Oriental	110%	Excepto Rusia
Japón y Corea	90%	
Asia, África, Rusia	130%	Incluida Asia, excepto Japón y Corea
Norteamérica, Sudamérica y Australia	110%	

Fuente: Los factores de ajuste se basan en datos proporcionados por el Sr. Roger Matthews, en comunicación personal al Sr. Martin Patel, mayo de 2002.  
 Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27

### **Emisiones de metano**

Los factores de emisión por defecto de CH<sub>4</sub> fugitivo proveniente de la escisión al vapor del etano y de la nafta para la producción de etileno se estiman a partir de los factores de emisión de COV y de datos sobre los perfiles de las especies de COV obtenidos de la guía *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook* (EEA, 2005). Las emisiones globales de compuestos orgánicos volátiles provenientes de la escisión al vapor se estiman en 5 kg./tonelada de etileno producido, según una publicación europea, donde se supone una alimentación de nafta, y

en 10 kg. de COV/tonelada de etileno producido, según una publicación en Estados Unidos, donde se supone una alimentación de etano. A partir de los factores de emisión del total de COV, se estima de los perfiles de las especies de COV, que las emisiones globales de CH<sub>4</sub> de la escisión al vapor de la nafta son de 3 kg./tonelada de etileno producido. Estas emisiones provienen principalmente de pérdidas por fugas. Asimismo, se estima a partir de los perfiles de las especies de COV, que las emisiones globales de CH<sub>4</sub> de la escisión del etano son el doble que las de la escisión de la nafta (6 kg. de COV/tonelada de etileno producido). Sin embargo, estos factores están sujetos a incertidumbre pues los factores de emisión de COV globales de 5 kg. de COV/ tonelada de etileno para la alimentación de nafta y de 10 kg. de COV/ tonelada de etileno producido para la alimentación de etano, están basados en una sola publicación. Se supone que las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de la escisión al vapor de las sustancias de alimentación que no son ni etano ni nafta, son las mismas que las que se estiman de los datos EMEP/CORINAIR para la escisión al vapor de la nafta.

Los datos publicados muestran una gran variabilidad en los factores de emisión de CH<sub>4</sub> declarados para la producción de etileno. En la publicación de la Asociación europea de fabricantes de plásticos (APME), *Eco-Profiles* de la Industria Europea de Plásticos, se declara un factor de emisión de CH<sub>4</sub> para la producción de etileno de 2,9 kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de etileno producido, según una referencia citada en *APME Eco-Profiles for Olefins Production* (Boustead, 2003a). El factor de emisión de CH<sub>4</sub> para las operaciones del proceso de escisión al vapor del etileno está basado en datos de análisis de la vida útil de 15 fraccionadores al vapor europeos. Emisiones tan bajas como 0,14 kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de etileno han sido estimadas sobre la base de mediciones directas en una planta noruega de etileno (SFT 2003b) y tan bajas como 0,03 kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de etileno, sobre la base de datos de empresa declarados en *Australian Methodology for the Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks, 2003* (AGO, 2005). Otros operadores de la escisión al vapor europeos y australianos han declarado emisiones de CH<sub>4</sub> específicas de planta del orden de un 10 por ciento de los valores declarados en el Cuadro 3.16 (DSM, 2002; Qenos, 2003; Qenos, 2005). Por estas razones, no deben utilizarse los factores de emisión del Cuadro 3.16 para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de las plantas de etileno de escisión al vapor, si para ellas se dispone de datos específicos de planta. En ese caso, deben usarse los datos específicos de planta y el método de Nivel 3. En el Cuadro 3.16 se muestran factores de emisión de CH<sub>4</sub> por defecto para varias alimentaciones a procesos. Nótese que las alimentaciones por defecto para la producción de etileno están identificadas en el Cuadro 3.11.

<b>CUADRO 3.16</b>	
<b>FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO DE METANO PARA LA PRODUCCIÓN DE ETILENO</b>	
<b>Sustancia de alimentación al proceso</b>	<b>kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de etileno producido</b>
Etano	6
Nafta	3
Todas las demás sustancias de alimentación	3
Fuente: EEA, 2005 ( <i>EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook</i> )	
Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27	

## **Dicloruro de etileno y monómero de cloruro de vinilo**

### ***Emisiones de dióxido de carbono***

En el Cuadro 3.17 se proporcionan factores de emisión para los procesos de producción de dicloruro de etileno y de monómero de cloruro de vinilo, incluidos el proceso de cloración directa, el proceso de oxiclорación y el proceso equilibrado. Los factores de emisión de CO<sub>2</sub> se derivan promediando los datos sobre emisiones de CO<sub>2</sub> específicos de planta para las plantas europeas citadas en el documento de referencia de la Oficina europea de Prevención y control integrado de la contaminación (IPCC), sobre las Mejores técnicas disponibles para la Industria química orgánica de gran volumen (*Large Volume Organic Chemical Industry Best Available Techniques*) (Oficina europea del IPCC, febrero 2003; denominado en esta sección como Documento IPPC LVOC BAT) Nótese que como se indica en el Cuadro 3.11, el proceso por defecto es el proceso equilibrado para la producción de EDC (del inglés, *Ethylene Di-Chloride*) con una planta integrada de producción de VCM (del inglés, *Vinyl Chloride Monomer*). El factor de emisión total de CO<sub>2</sub> para cada proceso incluye las emisiones de CO<sub>2</sub> que no provienen de la combustión en el venteo de gases del proceso de dicloruro de etileno y las emisiones que provienen de la combustión de CO<sub>2</sub> en las fuentes de combustión de la planta dicloruro de etileno. Los factores de emisión de las fuentes de combustión de la planta incluyen a la vez los gases de desecho del proceso y los combustibles auxiliares en el incinerador térmico de los gases de desecho del proceso. El factor de emisión

relacionado con la combustión no incluye las emisiones provenientes de la quema en antorcha. Los factores de emisión relacionados con la combustión del Cuadro 3.17 están basados en datos tomados de las plantas que emplean el proceso de oxiclорación, pero se supone que estos factores de emisión son válidos también para las plantas que emplean el proceso de clорación directa y el proceso equilibrado. En el Cuadro 3.18 se presentan factores de consumo para los procesos de producción del dicloruro de etileno y del monómero de cloruro de vinilo. En el documento *PlasticsEurope EcoProfiles* (Boustead, 2005), para la producción de EDC se indica una utilización de etileno de 0,306 toneladas por tonelada de EDC producido basado en ocho plantas europeas.

Debe notarse que los factores de emisión de CO<sub>2</sub> del Cuadro 3.17, expresados en unidades de toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de EDC producido y en unidades de toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada VCM producido, no son aditivos. Ambos factores de emisión de CO<sub>2</sub> son aplicables al proceso de producción integrado de EDC/VCM, sin embargo las toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de factor de EDC producido están basadas en datos de la actividad sobre la producción de EDC mientras que las toneladas de CO<sub>2</sub> por tonelada de VCM producido están basadas en datos de la actividad sobre la producción de VCM. El factor de emisión de CO<sub>2</sub> que deberá aplicarse dependerá de cuáles datos se dispone, ya sea de la producción de EDC o de la producción de VCM. Del mismo modo, los factores de consumo de sustancias de alimentación del Cuadro 3.18, expresados en unidades de toneladas de etileno consumido por tonelada de EDC producido y en unidades de toneladas de etileno consumido por tonelada VCM producido, no son aditivos. El factor de consumo de sustancias de alimentación que deberá aplicarse depende de cuáles datos se dispone, ya sea de la producción de EDC o de la producción de VCM.

<b>CUADRO 3.17</b>		
<b>FACTORES DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> DE NIVEL 1</b>		
<b>PARA LA PRODUCCIÓN DE DICLORURO DE ETILENO Y/O CLORURO DE VINILO</b>		
<b>Configuración del proceso</b>	<b>Toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de EDC producido</b>	<b>Toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de VCM producido</b>
<b>Proceso de clорación directa</b>		
Venteos de proceso que no provienen de la combustión	emisiones insignificantes	emisiones insignificantes
Emisiones de la combustión	0,191	0,286
Factor de emisión total de CO <sub>2</sub>	<b>0,191</b>	<b>0,286</b>
<b>Proceso de oxiclорación</b>		
Venteos de proceso que no provienen de la combustión	0,0113	0,0166
Emisiones de la combustión	0,191	0,286
Factor de emisión total de CO <sub>2</sub>	<b>0,202</b>	<b>0,302</b>
<b>Proceso equilibrado [por defecto]</b>		
Venteos de proceso que no provienen de la combustión	0,0057	0,0083
Emisiones de la combustión	0,191	0,286
Factor de emisión total de CO <sub>2</sub>	<b>0,196</b>	<b>0,294</b>
Los valores para las emisiones de CO <sub>2</sub> de la producción de EDC y VCM para varias plantas europeas se han proporcionado en el Documento IPPC LVOC BAT (Oficina europea de IPCC, 2003), <i>Cuadro 12.6 y Cuadro 12.7</i> . Estos valores se promediaron para calcular los factores de emisión de CO <sub>2</sub> para la producción de EDC y VCM. Una planta de EDC que está equipada de un dispositivo de control del CO <sub>2</sub> y que declaró cero emisiones de CO <sub>2</sub> del proceso, no se incluyó en el cálculo del factor de emisión promedio.		
Fuente: Oficina europea del IPCC, 2003 (Documento IPPC LVOC BAT, datos en <i>Cuadro 12.6 y Cuadro 12.7</i> ).		
Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27		

<b>CUADRO 3.18</b>		
<b>FACTORES DE CONSUMO DE SUSTANCIAS DE ALIMENTACIÓN DE NIVEL 1</b>		
<b>PARA EL PROCESO DEL DICLORURO DE ETILENO Y/O MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO</b>		
<b>Configuración del proceso</b>	<b>Toneladas de etileno/tonelada de EDC producido</b>	<b>Toneladas de etileno/tonelada de VCM producido</b>
Proceso de cloración directa	0,290	--
Proceso de oxiclорación	0,302	--
Proceso equilibrado	0,296	0,47
Fuente: Oficina europea del IPCC, 2003 (Documento IPPC LVOC BAT, Sección 12.3.1, Páginas 299-300, Sección 12.1 <i>Cuadro 12.3</i> , Página 293).		
Los valores de incertidumbre para este cuadro están incluidos en el Cuadro 3.27		

### **Emisiones de metano**

El «perfil de especie» (*species profile*) de EMEP/CORINAIR para el proceso equilibrado del dicloruro de etileno y/o monómero de cloruro de vinilo indica que no hay otras emisiones de CH<sub>4</sub> del proceso que las emisiones de CH<sub>4</sub> de las fuentes de combustión. En el perfil de especie de EMEP/CORINAIR se informa que las emisiones de COV provenientes de pérdidas por fugas, almacenamiento y manipulación, no contienen CH<sub>4</sub>. El EMEP/CORINAIR informa también que 2 por ciento del total de emisiones de COV provenientes del proceso equilibrado, corresponden a fuentes de combustión y que el CH<sub>4</sub> constituye el 1,2 por ciento de las emisiones totales de COV. Por lo tanto, se puede suponer que las emisiones de CH<sub>4</sub> que no provienen de la combustión de dicloruro de etileno y/o monómero de cloruro de vinilo, son insignificantes.

Las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de la combustión de gas natural como combustible complementario en el proceso de producción del dicloruro de etileno y/o monómero de cloruro de vinilo, pueden estimarse de los datos de la actividad para el consumo de combustible complementarios de gas natural y del factor de emisión de CH<sub>4</sub> para la combustión de gas natural. El consumo de gas natural para la producción integrada de dicloruro de etileno y monómero de cloruro de vinilo se estimó en 110,1 Nm<sup>3</sup> de gas natural/tonelada de VCM producido, para una planta de producción integrada de dicloruro de etileno y monómero de cloruro de vinilo de los Países Bajos, y en 126,4 Nm<sup>3</sup> de gas natural/tonelada de VCM producido para una planta similar de Alemania. El promedio de estos dos valores es 118,3 Nm<sup>3</sup> de gas natural/tonelada de VCM. El factor de emisión de CH<sub>4</sub> para el proceso de producción integrada de EDC/VCM está basado en un factor de emisión de CH<sub>4</sub> de 5 g de CH<sub>4</sub>/GJ de gas natural quemado y en el consumo promedio de gas natural de las dos plantas europeas. El factor de emisión de CH<sub>4</sub> por defecto para el proceso de producción del dicloruro de etileno y/o monómero de cloruro de vinilo se incluye en el Cuadro 3.19. El factor de emisión por defecto no es aplicable a las plantas autónomas de producción de EDC. Si se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de gas natural, el factor de emisión de CH<sub>4</sub> de 5 g de CH<sub>4</sub>/GJ puede aplicarse directamente a los datos de la actividad, en vez de usarse el factor de emisión por defecto.

<b>CUADRO 3.19</b>	
<b>FACTOR DE EMISIÓN DE CH<sub>4</sub> POR DEFECTO DE NIVEL 1</b>	
<b>PARA EL PROCESO DEL DICLORURO DE ETILENO Y/O CLORURO DE VINILO</b>	
<b>Configuración del proceso</b>	<b>kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de producto VCM producido</b>
Planta de producción integrada de EDC/VCM	0,0226
Fuentes: Oficina europea del IPCC, 2003 (Documento IPPC LVOC BAT, sección 12.3.1, Cuadro 12.4, Pág. 300); EEA, 2005 ( <i>EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, Processes in Organic Chemical Industries (Bulk Production) 1, 2-Dichloroethane and Vinyl Chloride (Balanced Process)</i> , Activity 040505, 15 de febrero de 1996, sección 3.4, Págs. B455-3 y Cuadro 9.2, B455-5).	

## **Óxido de etileno**

### **Emisiones de dióxido de carbono**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> a partir de la producción de óxido de etileno pueden estimarse mediante los factores de emisión basados en datos de la actividad sobre la producción de óxido de etileno y en datos de la actividad para la configuración y la selectividad del catalizador del proceso. En el Cuadro 3.20, se presentan los factores de emisión de CO<sub>2</sub> para las emisiones de CO<sub>2</sub> del proceso por aire y para las emisiones de CO<sub>2</sub> del proceso por oxígeno, para un espectro de selectividades del catalizador. Los factores de emisión por defecto para el proceso por aire y para el proceso por oxígeno se han estimado a partir de datos sobre la selectividad del catalizador específico del proceso proporcionados en el documento IPPC LVOC BAT. Para seleccionar los factores de emisión del Cuadro 3.20, se requieren datos específicos sobre el tipo de proceso y sobre la selectividad del catalizador del proceso. Los factores de emisión se derivan de la selectividad del catalizador empleando principios estequiométricos y están basados en la hipótesis que las emisiones de CH<sub>4</sub> y COVDM de los procesos son insignificantes y que todo el carbono contenido en el etileno de alimentación al proceso se convierte, ya sea en el producto óxido de etileno o en emisiones de CO<sub>2</sub>. Los factores de emisión del Cuadro 3.20 no incluyen las emisiones provenientes de la quema en antorcha.



Como se muestra en el Cuadro 3.20, el factor de emisión por defecto para el proceso por aire está basado en una selectividad del catalizador del proceso de 70 por ciento y en el factor de emisión por defecto para el proceso por oxígeno está basado en una selectividad del catalizador del proceso de 75 por ciento Si no se dispone de datos sobre la configuración o sobre la selectividad del catalizador del proceso, la configuración por defecto del proceso es la del proceso por aire y la selectividad por defecto del catalizador es de 70 por ciento. Si se dispone de datos de la actividad que permiten identificar el proceso utilizado como proceso por oxígeno, pero no se dispone de datos sobre la selectividad del catalizador en el proceso por oxígeno, entonces debe emplearse el factor de emisión para la selectividad del catalizador por defecto de 75 por ciento del Cuadro 3.20 para el proceso por oxígeno.

<b>CUADRO 3.20</b>			
<b>CONSUMO DE SUSTANCIAS DE ALIMENTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO Y FACTORES DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub></b>			
<b>Configuración del proceso</b>	<b>Selectividad del catalizador</b>	<b>Consumo de sustancia de alimentación (toneladas de etileno/tonelada de óxido de etileno)</b>	<b>Factor de emisión (toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de óxido de etileno)</b>
Proceso por aire [proceso por defecto]	Por defecto (70)	0,90	0,863
	75	0,85	0,663
	80	0,80	0,5
Proceso por oxígeno	Por defecto (75)	0,85	0,663
	80	0,80	0,5
	85	0,75	0,35

Fuente: Oficina europea del IPCC, 2003 (Documento IPPC LVOC BAT, sección 9.2.1, Pág. 224, sección 9.3.1.1, Pág. 231, figura 9.6)

### **Emisiones de metano**

El documento IPPC LVOC BAT, para la producción de óxido de etileno declara factores de emisión de CH<sub>4</sub> (en unidades de kilogramos de metano por tonelada de óxido de etileno producido) para el venteo del proceso de óxido de etileno, de los gases y vapor de escape del proceso de purificación del óxido de etileno y de las fuentes de emisiones fugitivas. Para los venteos de eliminación de dióxido de carbono en la plantas europeas de dióxido de etileno, los factores de emisión de CH<sub>4</sub> del documento IPPC LVOC BAT se declararon antes y después del tratamiento. También se declararon las emisiones de CH<sub>4</sub> para dos plantas de óxido de etileno de los Países Bajos. Los factores de emisión de CH<sub>4</sub> para la producción de óxido de etileno fueron desarrollados promediando estos datos. Las emisiones de CH<sub>4</sub> pueden estimarse mediante la aplicación de los factores de emisión incluidos en el Cuadro 3.21 a los datos de la actividad para la producción de óxido de etileno. Para el factor de emisión de CH<sub>4</sub> por defecto de la producción de óxido de etileno, se supone que no se aplica un proceso de tratamiento térmico.

<b>CUADRO 3.21</b>	
<b>FACTORES DE EMISIÓN DE CH<sub>4</sub> DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO</b>	
<b>Configuración del proceso</b>	<b>kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de óxido de etileno producido</b>
Sin tratamiento térmico [factor por defecto]	1,79
Con tratamiento térmico	0,79

Fuente: Oficina europea del IPCC, 2003 (Documento IPPC LVOC BAT, Cuadro 9.6, Pág. 233, Cuadro 9.8, Pág. 236, Cuadro 9.9, Pág. 236).

### **Acrilonitrilo**

#### **Emisiones de dióxido de carbono**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de los venteos del proceso de producción de acrilonitrilo por amoxidación directa del propileno pueden calcularse a partir de los datos de la actividad sobre la producción de acrilonitrilo utilizando los factores de emisión proporcionados en el Cuadro 3.22:

<b>CUADRO 3.22</b> <b>FACTORES DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> DE LA PRODUCCIÓN DE ACRILONITRILLO</b>	
<b>Configuración del proceso</b>	<b>Toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de acrilonitrilo producido</b>
<b>Amoxidación directa del propileno</b>	
Productos secundarios quemados para recuperación de energía y/o quemados en la antorcha (por defecto)	1,00
Acetonitrilo quemado para recuperación de energía y/o quemado en antorcha	0,83
Acetonitrilo y cianuro de hidrógeno recuperado como producto	0,79
Fuente: Oficina europea del IPCC, 2003 (Documento IPPC LVOC BAT, sección 11.3.1.1, <i>Cuadro 11.2</i> , Pág. 274 y sección 11.3.1.2, Pág. 275).	

Los factores de emisión del Cuadro 3.22 están basados en un factor promedio (por defecto) del consumo de propileno de alimentación al proceso, de 1,09 toneladas de propileno de alimentación por tonelada de acrilonitrilo producido, lo cual corresponde a un factor de rendimiento del producto primario cercano al 70 por ciento. El factor de emisión de CO<sub>2</sub> por defecto está basado en la conversión del propileno de alimentación en acetonitrilo producto secundario a una relación de 18,5 kilogramos por tonelada de acrilonitrilo producido y en la conversión del propileno en producto secundario cianuro de hidrógeno una relación de 105 kilogramos por tonelada de acrilonitrilo producido; a la vez está basado en datos específicos del proceso sobre el rendimiento de acrilonitrilo y en datos específicos del proceso sobre el consumo de sustancias de alimentación, declarados en el documento IPPC LVOC BAT (Oficina europea de IPCC, 2003). Nótese, sin embargo, que el proceso de producción de acrilonitrilo puede configurarse y operarse de modo que produzca una mayor o una menor cantidad de productos secundarios. El factor de emisión de CO<sub>2</sub> por defecto está basado en la hipótesis de que los productos secundarios (acetonitrilo y cianuro de hidrógeno) del proceso de producción de acrilonitrilo y los productos hidrocarburos derivados presentes en la columna principal de absorción de gases de venteo son quemados, sea para recuperar energía o producir CO<sub>2</sub> en antorcha y no son recuperados como productos ni emitidos hacia la atmósfera sin tratamiento de combustión. Los factores de emisión de CO<sub>2</sub> no incluyen las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la combustión de cualquier combustible auxiliar (p. ej., gas natural) utilizado para el proceso de recuperación de energía desde los gases de desecho o de los sistemas de quemado en antorcha.

Si no se dispone de datos de la actividad que permitan determinar si se recuperan los productos secundarios para la venta, se supone por defecto que los productos secundarios se queman para recuperar energía, o producen CO<sub>2</sub> en la antorcha y que el factor de rendimiento de producto primario por defecto es de 70 por ciento.

En el caso de las configuraciones de proceso en que los productos secundarios (acetonitrilo y cianuro de hidrógeno) son recuperados para la venta y no se queman con producción de CO<sub>2</sub> en la antorcha ni recuperación de energía, el factor de rendimiento global de productos primarios y secundarios es de 85 por ciento.

Si no se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de propileno de alimentación al proceso, el consumo de la alimentación de propileno puede estimarse de los datos de la actividad sobre la producción de acrilonitrilo, aplicando un factor de consumo de alimentación de 1,09 toneladas de propileno de alimentación consumido por tonelada de acrilonitrilo producido.

### ***Emisiones de metano***

En una publicación de la Asociación europea de fabricantes de plásticos (APME), *Life-Cycle Analysis Report* (Boustead, 1999), se proporciona una referencia al documento *Life-Cycle Analysis Data Summary for Acrylonitrile*, donde se declara de un factor de emisión de CH<sub>4</sub> para la producción de acrilonitrilo de 0,18 kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de acrilonitrilo producido. El factor de emisión de CH<sub>4</sub> para las operaciones del proceso del acrilonitrilo está basado en datos de análisis de la vida útil para las plantas europeas de Alemania, Italia y el Reino Unido recopilados entre 1990 y 1996. Las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de la producción de acrilonitrilo pueden estimarse aplicando este factor de emisión por defecto a los datos sobre producción de acrilonitrilo.

## **Negro de humo**

### ***Emisiones de dióxido de carbono***

Las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de negro de humo pueden estimarse aplicando los factores de emisión específicos del proceso y de la alimentación al proceso a los datos de la actividad sobre la producción del negro de humo. En el Cuadro 3.23 se proporcionan factores de emisión separados para los procesos del negro de horno, del negro térmico y del negro de acetileno y para las sustancias de alimentación asociadas, así como factores de emisión separados para las sustancias de alimentación primaria y secundaria. Los factores de emisión

están basados en la hipótesis de que las emisiones provenientes del proceso están sujetas a un proceso de tratamiento térmico.

En el Cuadro 4.11 del borrador del documento de la Oficina europea de Prevención y control integrado de la contaminación (IPCC), Documento de referencia sobre las Mejores técnicas disponibles para la Industria química inorgánica de gran volumen (*Large Volume Inorganic Chemical Industry Best Available Techniques*) (Oficina europea del IPCC, junio 2005; denominado en este capítulo Documento borrador IPPC LVIC BAT), se incluye un intervalo de valores para la alimentación primaria y secundaria al proceso del negro de humo. Los factores de emisión de CO<sub>2</sub> del Cuadro 3.23 están basados en el promedio del intervalo de valores. El consumo de sustancias de alimentación primaria y secundaria se convierte en consumo de carbono empleando los valores promediados para el contenido de carbono de las sustancias de alimentación para el negro de humo. Los factores de emisión de CO<sub>2</sub> se calculan partiendo de las entradas de carbono al proceso (alimentación primaria y secundaria) y de la salida de carbono (negro de humo) del proceso utilizando un valor promedio para el contenido de carbono del negro de humo.

<b>CUADRO 3.23</b>			
<b>FACTORES DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE NEGRO DE HUMO</b>			
<b>Configuración del proceso</b>	<b>Toneladas de CO<sub>2</sub>/tonelada de negro de humo producido</b>		
	<b>Alimentación primaria</b>	<b>Alimentación secundaria</b>	<b>Alimentación total</b>
Proceso del negro de horno (proceso por defecto)	1,96	0,66	2,62
Proceso del negro térmico	4,59	0,66	5,25
Proceso del negro de acetileno	0,12	0,66	0,78

Fuente: Oficina europea del IPCC, 2005 (Documento borrador IPPC LVIC BAT, datos del Cuadro 4.11).

### ***Emisiones de metano***

En el Cuadro 3.24 se presentan las emisiones de CH<sub>4</sub> para el proceso de producción del negro de humo. En el Documento borrador IPPC LVIC BAT, para el negro de humo se declara sobre el contenido de CH<sub>4</sub> de los gases de cola que no se queman en el proceso de producción del negro de humo y sobre la tasa estimada de generación para el gas de cola en este proceso. Basándose en un volumen de 10 000 Nm<sup>3</sup> de gas de cola por tonelada de negro de humo producido y en una concentración promedio de CH<sub>4</sub> declarada de 0,425 por ciento por volumen, el factor de emisión incontrolada de CH<sub>4</sub> es de 28,7 kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de negro de humo producido. La eficiencia de combustión en la antorcha para los sistemas de quemado en antorcha del proceso del negro de humo ha sido declarada en el Documento borrador IPPC LVIC BAT como de un 99,8 por ciento para el monóxido de carbono y se supone que la misma eficiencia es válida para el CH<sub>4</sub>. El factor de emisión de CH<sub>4</sub> para la producción de negro de humo después de aplicar el control de la combustión es de 0,06 kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de negro de humo producido. Se declaró un factor de emisión de total de CH<sub>4</sub> 0,11 kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de negro de humo, basado en datos de empresa, ha sido proporcionado en la *Australian Methodology for the Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks*, 2003 (AGO, 2005.) Tres plantas productoras de negro de humo de Alemania han declarado un factor de emisión de CH<sub>4</sub> común de 0,03 kg. de CH<sub>4</sub>/tonelada de negro de humo producido, basándose en datos sobre mediciones efectuadas después de la combustión de los gases de desecho utilizando BAT (*Thermische Nachverbrennung als Stand der Technik.*)

<b>CUADRO 3.24</b>	
<b>FACTORES DE EMISIÓN DE CH<sub>4</sub> DE NIVEL 1 PARA LA PRODUCCIÓN DE NEGRO DE HUMO</b>	
<b>Configuración del proceso</b>	<b>kilogramos de CH<sub>4</sub>/tonelada de negro de humo producido</b> (Gas de cola del proceso del negro de humo)
Sin tratamiento térmico	28,7
Con tratamiento térmico (proceso por defecto)	0,06

Fuente: Oficina europea del IPCC, 2005 (Documento borrador IPPC LVIC BAT, Cuadro 4,8, Pág. 209, Cuadro 4,10, Pág. 213, sección 4.3.2.3, Pág. 210).

## NIVEL 2

La metodología de Nivel 2 se basa en cálculos sobre equilibrio de masas y por ello no existen factores de emisión asociados a esta metodología.

## NIVEL 3

Para el método de Nivel 3, las emisiones específicas de planta pueden estimarse para el CO<sub>2</sub>, utilizando las Ecuaciones 3.20 hasta 3.22, y para el CH<sub>4</sub>, utilizando la Ecuación 3.26 o las Ecuaciones 3.27 hasta 3.29. Los factores de emisión pueden ponerse en relación con la producción anual para estimar las emisiones en los períodos entre mediciones, si éstas no son continuas.

### 3.9.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

En el Capítulo 2 del Volumen 1 se discuten los aspectos generales de la recopilación de datos para obtener datos de la actividad. Cuando se use el método de Nivel 3, los datos específicos de la planta deben obtenerse a través de las plantas productoras. Las mediciones directas del flujo total hacia el fraccionador al vapor y el sistema de quema en antorcha junto con un análisis del contenido de carbono del gas proporcionan las bases más exactas para una estimación de las emisiones.

El balance de energía y/o el balance de carbono específicos de la planta pueden también utilizarse para derivar los factores de emisión específicos de la planta. La variedad de flujos de energía y de carbono a través de las fronteras de la planta hace que este método sea intensivo respecto de los datos, pero mucho menos intensivo en cuanto a recursos. Dado que los datos sobre el consumo de sustancias de alimentación pueden ser difíciles de obtener, los datos sobre ventas y las estadísticas nacionales pueden proporcionar los volúmenes aproximados de producción para los productos químicos.

#### METANOL

Las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de metanol pueden calcularse del consumo de sustancias de alimentación específicas (p. ej., gas natural) y de los datos de la actividad sobre producción del producto (metanol), así como mediante cálculos de balance de masas para el carbono.

#### ETILENO

Las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de etileno pueden calcularse del consumo de sustancias de alimentación específicas y de los datos de la actividad sobre la producción de etileno, así como mediante cálculos de balance de masas para el carbono. Con el fin de efectuar un balance de masas completo para el proceso de producción del etileno e implementar la metodología de Nivel 2 para la producción de etileno, todas las sustancias de alimentación y la producción y disposición de todos los productos, primarios y secundarios, del proceso deben identificarse mediante datos de la actividad. En los casos en que se disponga de datos sobre la producción de etileno, pero no se disponga de datos sobre la producción de productos secundarios del proceso de escisión al vapor, la producción de éstos puede estimarse utilizando los factores por defecto del Cuadro 3.25 y la Ecuación 3.18. Sin embargo, el uso de estos factores por defecto es un método menos exacto que el del uso de datos de la actividad específicos para todos los productos primarios y secundarios, y esto aumenta la incertidumbre de las estimaciones pues el rendimiento de los fraccionadores al vapor puede variar según las condiciones específicas de las instalaciones. Por ejemplo, los datos específicos de la instalación declarados para los fraccionadores al vapor que operan en Alemania, indican que las pérdidas de hidrocarburos bajo condiciones normales de funcionamiento son del orden de 8,5 kg. por tonelada de hidrocarburo de alimentación (BASF, 2006), mientras que el valor por defecto para las pérdidas de hidrocarburos que se muestra en el Cuadro 3.25, es de 5 kg. por tonelada de hidrocarburo de alimentación. Si no se dispone de datos de la actividad para todos los productos secundarios, puede aplicarse el método de Nivel 1 en vez del Nivel 2.

Los productos secundarios producidos por el proceso de escisión al vapor pueden recuperarse y transferirse hacia una planta petroquímica o una refinería de petróleo para la reutilización del material, para el reciclado dentro del proceso de escisión al vapor como sustancias de alimentación o para quemarlos y recuperar energía. Típicamente, los productos secundarios C<sub>4</sub>+ se reciclan como alimentación a procesos o se recuperan para reutilización del material (BASF, 2006). La atribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la combustión de productos secundarios para recuperación de energía se describe en el Recuadro 1.1 del Capítulo 1 de este volumen. Si no se dispone de datos de la actividad sobre la disposición de los productos secundarios C<sub>4</sub>+, se supone por defecto que los productos secundarios C<sub>4</sub>+ son recuperados y transferidos hacia otro proceso para reutilización del material. Si no hay datos sobre la disposición del CH<sub>4</sub> producido por el proceso de escisión al vapor, se supone por defecto que el CH<sub>4</sub> se quema para recuperar energía dentro del proceso de escisión al vapor y genera emisiones de CO<sub>2</sub> como resultado del proceso.

Los fraccionadores al vapor que operan dentro de la industria petroquímica pueden obtener las sustancias petroquímicas de alimentación para el proceso de producción del etileno directamente de una refinería de petróleo adyacente. Según las condiciones de operación aplicables a las sustancias de alimentación y a los procesos, los fraccionadores al vapor pueden generar también «contraflujos» de productos hidrocarburos derivados que son devueltos a la refinería adyacente para procesamientos ulteriores. Ninguna de las emisiones de CO<sub>2</sub> del procesamiento de los contraflujos en las refinerías de petróleo está incluida en los factores de emisión de CO<sub>2</sub> del proceso de producción de etileno en los fraccionadores al vapor, pero se consideran en el análisis de los flujos de sustancias de alimentación y de carbono para el proceso.

<b>CUADRO 3.25</b>							
<b>MATRIZ ALIMENTACIÓN-PRODUCTO DE LA ESCISIÓN AL VAPOR DEL ETILENO</b>							
<b>Producto</b>	<b>Alimentación a procesos</b>	<b>kg. de producto/tonelada de sustancia de alimentación</b>					
		<b>Nafta</b>	<b>Gasóleo (diésel)</b>	<b>Etano</b>	<b>Propano</b>	<b>Butano</b>	<b>Otros</b>
Productos químicos de alto valor		<b>645</b>	<b>569</b>	<b>842</b>	<b>638</b>	<b>635</b>	<b>645</b>
Etileno		324	250	803	465	441	324
Propileno		168	144	16	125	151	168
Butadieno		50	50	23	48	44	50
Aromáticos		104	124	0	0	0	104
Productos con grado de combustible y contraflujos		<b>355</b>	<b>431</b>	<b>157</b>	<b>362</b>	<b>365</b>	<b>355</b>
Hidrógeno		11	8	60	15	14	11
Metano		139	114	61	267	204	139
Etano y propano después de la escisión		0	0	0	0	0	0
Otros C4		62	40	6	12	33	62
C5/C6		40	21	26	63	108	40
C7+ no aromáticos		12	21	0	0	0	12
<430C		52	26	0	0	0	52
>430C		34	196	0	0	0	34
Pérdidas		5	5	5	5	5	5
<b>Total</b>		<b>1 000</b>	<b>1 000</b>	<b>1 000</b>	<b>1 000</b>	<b>1 000</b>	<b>1 000</b>

Fuente: Neelis, M; Patel, M; de Feber, M; *Copernicus Institute*, abril 2003, *Cuadro 2.2*, Pág. 24

## DICLORURO DE ETILENO Y MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO

Las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de dicloruro de etileno y monómero de cloruro de vinilo pueden calcularse del consumo de sustancias de alimentación específicas (etileno) y de los datos de la actividad sobre producción del producto (dicloruro de etileno), así como mediante cálculos de balance de masas para el carbono.

## ÓXIDO DE ETILENO

Las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de óxido de etileno pueden calcularse del consumo de sustancias de alimentación específicas (etileno) y de los datos de la actividad sobre producción del producto (óxido de etileno), así como mediante cálculos de balance de masas para el carbono.

## ACRILONITRILO

Si no se dispone de datos de la actividad sobre la producción de productos secundarios (acetonitrilo y cianuro de hidrógeno), para estimar la producción de producto secundario pueden aplicarse los valores por defecto del Cuadro 3.26 y la Ecuación 3.19 a los datos de la actividad sobre producción de producto primario .

<b>CUADRO 3.26</b>	
<b>FACTORES DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS SECUNDARIOS PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ACRILONITRILLO</b>	
<b>Producto secundario</b>	<b>kg. de producto secundario/ tonelada de acrilonitrilo producido</b>
Acetonitrilo	18,5
Cianuro de hidrógeno	105
<p>Nota: Los factores de producción de productos secundarios de este cuadro se basan en la producción de acrilonitrilo a partir de la alimentación al proceso en propileno. En el caso en que se utilicen otras sustancias en vez de propileno para alimentar el proceso, los factores de este cuadro no serían aplicables. Para aplicar el método del equilibrio de masas de Nivel 2 a la producción de acrilonitrilo a partir de sustancias de alimentación distintas del propileno deben desarrollarse factores específicos del proceso en cuestión.</p> <p>Fuente: Oficina europea del IPCC, 2005 (Documento IPPC LVOC BAT, sección 11.3.4, Pág. 27).</p>	

Si no se dispone de datos de la actividad relacionados con la recuperación del producto acetonitrilo, se puede suponer que no se recupera y que se quema para recuperación de energía con resultado de CO<sub>2</sub>. Si no se dispone de datos de la actividad relacionados con el tratamiento térmico en la columna principal de absorción de gases de venteo, se puede suponer que el gas de venteo se trata térmicamente y produce CO<sub>2</sub> por la quema y que no es venteado de manera incontrolada hacia la atmósfera.

## **NEGRO DE HUMO**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de negro de humo pueden calcularse del consumo de sustancias de alimentación específicas a los procesos (p. ej., alimentación para negro de humo) y de los datos de la actividad sobre producción del producto (negro de humo), así como mediante cálculos de balance de masas para el carbono.

### **3.9.2.4 EXHAUSTIVIDAD**

Al estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de los procesos petroquímicos y del negro de humo existe un riesgo de cómputo doble o de omisión tanto en el Sector IPPU como en el Sector Energía. Las plantas petroquímicas y de negro de humo producen metano y productos hidrocarburos derivados no metano que pueden quemarse para recuperar energía y esta recuperación de energía puede declararse en las estadísticas nacionales sobre energía bajo la categoría «otros» combustibles o alguna categoría similar. Si las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la combustión de «otros» combustibles incluyen las descargas gaseosas de los procesos industriales que se queman para recuperar energía, para evitar el cómputo doble de las emisiones de CO<sub>2</sub> se necesitan efectuar algunos ajustes a las estadísticas sobre energía o a los cálculos de emisiones de CO<sub>2</sub> para la producción petroquímica.

## **METANOL**

Puede haber producción de metanol a partir de fuentes biogénicas (renovables). Este metanol biogénico puede estar incorporado a las estadísticas nacionales sobre producción de metanol, lo cual resultará en una sobreestimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del metanol derivado de los combustibles fósiles (p. ej., gas natural), a menos que se hagan ajustes a los datos de la actividad sobre la producción de metanol.

## **ETILENO**

Puede haber producción de etileno a partir de procesos de refinación del petróleo o de procesos petroquímicos que no proviene de los fraccionadores al vapor. Este etileno puede estar incorporado a las estadísticas nacionales sobre producción de etileno, lo cual resultará en una sobreestimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del etileno derivado de los fraccionadores al vapor, a menos que se hagan ajustes a los datos de la actividad sobre producción de etileno.

## **DICLORURO DE ETILENO Y MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO**

El dicloruro de etileno es un producto petroquímico intermedio utilizado para fabricar monómero de cloruro de vinilo y otros productos. Los datos de la actividad sobre la producción de dicloruro de etileno pueden no estar completos porque el dicloruro de etileno puede haber sido convertido directamente en monómero de cloruro de vinilo en una planta integrada EDC/VCM. Por lo tanto, puede suceder que los datos de la actividad sobre la producción del monómero de cloruro de vinilo sean más completos respecto de la cobertura de la industria que los datos de la actividad sobre la producción de dicloruro de etileno. Sin embargo, la utilización de los datos de la actividad para el monómero de cloruro de vinilo como sustitutos de los datos para el dicloruro de etileno presenta problemas de exhaustividad pues no todo el dicloruro de etileno es utilizado para fabricar monómero de cloruro de vinilo. Por esto, para dar cuenta de la utilización del dicloruro de etileno en la fabricación de otros

productos, puede ser necesario ajustar los datos de la actividad para el monómero de cloruro de vinilo. Basándose en datos de Norteamérica y Europa, la utilización del dicloruro de etileno para fabricar otros productos, exceptuado el monómero de cloruro de vinilo, ascendería hasta el orden de un 5 por ciento del total de la producción de dicloruro de etileno.

### **ÓXIDO DE ETILENO**

El óxido de etileno es un producto petroquímico intermedio utilizado para fabricar glicoles de etileno y otros productos. Los datos de la actividad para la producción de óxido de etileno pueden ser incompletos porque el óxido de etileno puede haber sido convertido en glicol de etileno en una planta integrada EO/EG. El óxido de etileno puede convertirse también en otros productos (p. ej., aminas, éteres, etc.) en plantas integradas. Dado que sólo alrededor de un 70 por ciento de la producción mundial de óxido de etileno se utiliza en la fabricación de glicoles de etileno, los datos de la actividad sobre la producción de otros productos químicos a partir del óxido de etileno pueden no ser más completos, respecto de la cobertura de la industria, que los datos de la actividad para la producción de óxido de etileno.

### **NEGRO DE HUMO**

Pueden producirse pequeñas cantidades de negro de humo a partir de fuentes biogénicas (renovables) tales como el negro animal y el negro de hueso. Este negro de humo biogénico puede estar incorporado a las estadísticas nacionales sobre producción de negro de humo, lo cual resultaría en una sobreestimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del negro de humo derivado de los combustibles fósiles. También puede darse una producción de negro de humo dentro de las fronteras físicas de las refinerías de petróleo en vez de dentro de la industria química. Se anticipa que el negro de humo producido dentro de las refinerías de petróleo esté incorporado en las estadísticas nacionales de producción de negro de humo y, por ende, las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de negro de humo dentro de las refinerías de petróleo deben declararse como emisiones provenientes de procesos industriales junto con las otras emisiones provenientes de la producción de negro de humo dentro de la industria química.

Puede haber lagunas en la exhaustividad respecto de los datos de la actividad sobre el consumo de sustancias de alimentación para negro de humo. Los datos de la actividad sobre las sustancias de alimentación para el negro de humo derivado del alquitrán de hulla, de gases de desecho o del acetileno pueden no estar disponibles, lo cual resultará en una subestimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> para la producción de negro de humo si se hubiera utilizado un método de equilibrio de masas de los niveles superiores.

#### **3.9.2.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE**

Las emisiones provenientes de la producción petroquímica y del negro de humo deben estimarse mediante métodos del mismo Nivel y el mismo tipo de datos de la actividad para todos los años. La construcción de una serie temporal para las emisiones provenientes de la producción petroquímica y de negro de humo mediante datos de la actividad obtenidos de mediciones específicas de la planta proporcionará las emisiones actuales más exactas. Sin embargo, es muy probable que no se disponga de datos de la actividad sobre las emisiones fugitivas o de la quema en antorcha para los años anteriores. Si no se han producido actualizaciones tecnológicas, el cálculo de un factor de emisión específico de la planta basado en datos de mediciones recientes relacionados con la producción de productos petroquímicos puede proveer un resultado razonable. La producción petroquímica está a menudo integrada en un complejo industrial que produce más de un producto químico o que intercambia flujos químicos o de energía con plantas industriales adyacentes e incluso el negro de humo puede producirse dentro de las refinerías de petróleo. Al construir una serie temporal basada en el consumo de sustancias de alimentación hay que tomar precauciones para garantizar que los datos de la actividad incluyan los mismos flujos en cada año de la serie temporal. Otra vez, se puede emplear un cálculo de tipo Nivel 1 que utilice factores de emisión desarrollados a partir de estimaciones recientes y específicas de la planta basadas en cálculos de balance de carbono de Nivel 2. También deben realizarse investigaciones para poner en evidencia un cambio en la elección de las sustancias de alimentación al proceso, así como las variaciones en los productos químicos primarios y secundarios producidos, tanto en el curso de un año determinado como entre los diferentes años. La reconstrucción de los vacíos existentes en las estimaciones de emisiones y la repetición de los cálculos deben respetar la orientación dada en el Volumen 1, Capítulo 5.

### **3.9.3 Evaluación de incertidumbre**

En esta sección se discuten las evaluaciones de la incertidumbre para cada factor de emisión y para los datos de la actividad aplicables a cada proceso. Los intervalos de incertidumbre para los factores de emisión y para los datos de la actividad incluidos en los Cuadros de las secciones precedentes están resumidos en el Cuadro 3.27.

## **METANOL**

Una gran parte de la incertidumbre asociada a las estimaciones de emisiones para la producción de metanol está relacionada con la dificultad para determinar los datos de la actividad que incluyen la cantidad de metanol producido y, en el caso de la metodologías de niveles superiores, con la cantidad de gas natural o de otras sustancias de alimentación consumidas sobre una base anual. Puede suceder que el consumo de gas natural y de otras sustancias de alimentación sólo esté declarado sobre una base anual en las estadísticas nacionales sobre energía, sin desglosar este consumo para la producción de metanol. Si no se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de gas natural, entonces sólo es aplicable un método de factor de emisión, en vez de un método de balance de carbono de nivel superior. Si no se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de otras sustancias de alimentación para la producción de metanol, se puede suponer que toda la producción nacional de metanol proviene de una alimentación de gas natural. Sin embargo, esta hipótesis introduciría cierta incertidumbre. Más aún, puede suceder que los datos de la actividad no estén disponibles para el consumo anual de alimentación de CO<sub>2</sub> en las plantas que utilizan el CO<sub>2</sub> como sustancia complementaria de alimentación en el proceso de producción.

## **ETILENO**

La incertidumbre asociada a los datos de la actividad sobre la producción de etileno está relacionada con la dificultad para determinar los tipos, las cantidades y características de las sustancias de alimentación al proceso de escisión al vapor (p. ej., etano, nafta) y los tipos, cantidades y características de los productos del proceso (p. ej., etileno, propileno). Puede suceder que el consumo de sustancias de alimentación y la producción de productos sólo estén declarados sobre una base anual en las estadísticas nacionales sobre energía y en las estadísticas sobre productos básicos, sin desglosar este consumo para el proceso de producción de etileno por escisión al vapor. La capacidad de realizar un cálculo de balance de carbono para la producción de etileno depende de la disponibilidad tanto de los datos de la actividad sobre el consumo de sustancias específicas de alimentación, como de la producción de productos específicos del proceso de escisión al vapor. Si sólo se dispone de datos sobre la producción nacional anual de etileno, se puede suponer la sustancia de alimentación por defecto para el país y/o la región y aplicar el factor de emisión por defecto. En este caso, debería realizarse el análisis de las sustancias de alimentación mediante la utilización del cuadro de rendimientos por defecto para la sustancia de alimentación por defecto. Sin embargo, dada la gran variabilidad de los factores de emisión y de los factores de rendimiento entre las sustancias de alimentación, la no disponibilidad de datos de la actividad sobre el consumo de sustancias específicas podría introducir incertidumbres significativas en los cálculos de emisiones y en el análisis de las sustancias de alimentación. Si se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de sustancias específicas de alimentación, entonces pueden realizarse estimaciones de emisiones y análisis de sustancias para cada alimentación, lo cual reduciría la incertidumbre. Sin embargo, lo ideal es disponer de datos de la actividad, tanto sobre el consumo de sustancias específicas de alimentación como sobre la producción de productos específicos, lo cual permitiría la realización de cálculos de balance de carbono de un nivel superior.

Otra fuente de incertidumbre está relacionada con la dificultad para determinar otros detalles de la configuración del proceso de escisión al vapor del etileno, incluidos los contraflujos de productos del proceso de escisión al vapor desde la planta petroquímica hacia la refinería de petróleo [potencialmente adyacente] y los flujos de productos derivados que se queman en la antorcha o para recuperar energía. La no disponibilidad de datos de la actividad para los contraflujos de refinería introduciría incertidumbre en el análisis de las sustancias de alimentación.

## **DICLORURO DE ETILENO Y MONÓMERO DE CLORURO DE VINILO**

Las fuentes de incertidumbre para el dicloruro de etileno incluyen la dificultad para determinar el proceso específico utilizado en la producción de dicloruro de etileno y para determinar los datos de la actividad sobre el consumo de etileno como sustancia de alimentación al proceso de producción. Si sólo se dispone de datos de la actividad sobre la producción de dicloruro de etileno, el cálculo de las emisiones puede realizarse usando el factor de rendimiento por defecto del proceso por defecto [equilibrado] y el factor de emisión por defecto para el proceso. Sin embargo, dada la gran variabilidad de los factores de emisión y de los factores de rendimiento para el proceso de oxiclорación, la no disponibilidad de datos específicos sobre el consumo de etileno como sustancia de alimentación podría introducir incertidumbres significativas en los cálculos de emisiones.

## **ÓXIDO DE ETILENO**

La fuente principal de incertidumbre para la producción de óxido de etileno es la dificultad para determinar los datos de la actividad sobre el consumo de etileno como sustancia de alimentación al proceso de producción de óxido de etileno. Si no se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de etileno, entonces sólo es aplicable un método de factor de emisión, en vez de un método de balance de carbono de nivel superior. Si sólo se dispone de datos sobre la producción nacional anual de óxido de etileno, se puede suponer el rendimiento de producto por defecto y aplicar el factor de emisión por defecto. En este caso, debería realizarse un análisis de las sustancias de alimentación mediante la utilización del factor de rendimiento de producto por defecto. Sin



embargo, dado el amplio espectro de los factores de rendimiento de producto declarados y de los factores de emisión para la producción de óxido de etileno, la no disponibilidad de datos específicos de actividad sobre el consumo de etileno para alimentación al proceso podría introducir incertidumbres significativas en los cálculos de emisiones.

## ACRILONITRILLO

Las fuentes de incertidumbre para la producción de acrilonitrilo incluyen la dificultad para determinar la configuración específica del proceso de producción de acrilonitrilo, para determinar los datos de la actividad para el consumo de propileno como sustancia de alimentación al proceso de producción y para determinar los datos de la actividad sobre la producción de acrilonitrilo y de acetónitrilo en el proceso. Si sólo se dispone de datos de la actividad sobre la producción de acrilonitrilo, el cálculo de las emisiones puede realizarse usando la configuración por defecto del proceso (suponiendo que no hay recuperación de acetónitrilo) y el factor de emisión por defecto para el proceso. Sin embargo, la hipótesis de que no hay recuperación de acetónitrilo del proceso introduce una incertidumbre significativa en los cálculos de las emisiones y de las sustancias de alimentación y puede resultar en una sobreestimación de las emisiones y una subestimación de la alimentación al proceso del acrilonitrilo. Los datos de la actividad sobre la producción nacional tanto del acrilonitrilo como del acetónitrilo en el proceso de producción de acrilonitrilo permitirían aplicar el factor de emisión específico del proceso para determinar el porcentaje de la producción nacional de acrilonitrilo del cual se recupera el acetónitrilo. Sin embargo, en el caso ideal, los datos de la actividad sobre el consumo de propileno y los datos de la actividad sobre el proceso de producción del acrilonitrilo, del acetónitrilo y del cianuro de hidrógeno permitirían la utilización de un método de nivel superior, lo cual reduciría la incertidumbre.

## NEGRO DE HUMO

La incertidumbre asociada con los datos de la actividad sobre el proceso de producción del negro de humo está relacionada con la dificultad para determinar los tipos, las cantidades y características de las sustancias de alimentación primarias y secundarias al proceso del negro de humo y con la dificultad para determinar el tipo de proceso utilizado para la producción de negro de humo y las características del producto negro de humo del proceso. Puede suceder que el consumo de sustancias de alimentación y la producción de negro de humo esté declarado sobre una base anual sólo en las estadísticas nacionales sobre energía y en las estadísticas sobre productos básicos, sin desglosar este consumo para cada proceso de producción de negro de humo. La mayor parte de la producción mundial de negro de humo proviene de procesos de negro de horno y por lo tanto, si no se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de sustancias de alimentación para negro de humo, se puede suponer, sin introducir una incertidumbre muy grande, que toda la producción de negro de humo resulta del proceso del negro de horno.

También, si se dispone de datos de la actividad sobre el consumo de sustancias primarias de alimentación al proceso del negro de humo, los datos pueden declararse en términos genéricos como «alimentación para negro de humo», sin indicar si se trata de una alimentación de sustancias basadas en el petróleo producido en las refinerías de petróleo o de sustancias basadas en el alquitrán de hulla producido a partir de la producción de coque metalúrgico. Los datos de la actividad sobre otras sustancias primarias de alimentación al proceso de negro de humo pueden no estar disponibles (p. ej., acetileno). También, se puede disponer de datos específicos de la actividad sobre el consumo de gas natural como sustancia secundaria de alimentación al proceso del negro de humo, pero puede suceder que no se disponga de datos de la actividad para otras sustancias secundarias de alimentación que pueden usarse en la producción de negro de humo (p. ej., gas de horno de coque). La no disponibilidad de datos sobre el consumo de sustancias específicas, primarias y secundarias, de alimentación, añadiría una incertidumbre al análisis de la alimentación al proceso.

La capacidad de realizar cálculos de balance de carbono para la producción de negro de humo, depende de la disponibilidad de los datos de la actividad sobre el consumo y las características de las sustancias primarias y secundarias de alimentación. Si sólo se dispone de datos sobre la producción nacional anual de negro de humo, se pueden suponer las características de una alimentación y un rendimiento de producto por defecto y aplicar el factor de emisión por defecto. Sin embargo, dada la variabilidad de las características y del origen de la alimentación, la no disponibilidad de datos de la actividad sobre el consumo y composición de las sustancias específicas de alimentación introduciría una incertidumbre significativa en los cálculos de las emisiones y de las sustancias de alimentación. Si se dispone de datos de la actividad específicos sobre el consumo y las características de la alimentación al proceso, así como sobre la producción de negro de humo asociada, entonces se puede realizar un balance de carbono y un análisis de la alimentación separados para cada sustancia de alimentación y para cada proceso mediante métodos de nivel superior, lo cual reduciría la incertidumbre.

## INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE

En el Cuadro 3.27 se presentan los intervalos de incertidumbre para los factores de emisión de Nivel 1 y para los datos de la actividad de Nivel 2 y de Nivel 3 para cada proceso. La fuente de los datos o el dictamen de expertos utilizado para preparar las estimaciones de incertidumbre, se identifica en el cuadro para cada factor o dato de la

actividad. La solicitud del dictamen de expertos se realizó mediante una evaluación del intervalo de los datos disponibles. En muchos casos, sólo había datos específicos de procesos para varias plantas. Los intervalos relativamente grandes de incertidumbre son el resultado de la relativa escasez de datos y de la probable variabilidad de las configuraciones de los procesos y de la eficiencia en la utilización de sustancias de alimentación entre las plantas petroquímicas y de negro de humo.

<b>CUADRO 3.27</b>				
<b>INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE PARA LOS FACTORES DE EMISIÓN Y LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD</b>				
<b>Método</b>	<b>Referencia</b>	<b>Factor</b>	<b>Intervalo de incertidumbre</b>	<b>Fuente</b>
Nivel 3		Medición directa del consumo de combustible junto con muestras de la composición gaseosa para todas las sustancias	- 5% a + 5 %	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9, sobre la base de las debates con las industrias nacionales, enero de 2005.
Nivel 1	Cuadro 3.12	Factores de emisión de CO <sub>2</sub> de la producción de metanol	-30% a +30%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9
Nivel 1	Cuadro 3.13	Factores de consumo de sustancias de alimentación al proceso de producción de metanol	-30% a +30%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9
Nivel 1		Factor de emisión de metano para la producción de metanol	-80% a +30%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9, sobre la base de los datos de la planta Methanex.
Nivel 1	Cuadro 3.14	Factores de emisión de CO <sub>2</sub> para la producción de etileno	-30% a +30%	Documento IPPC LVOC BAT, Figura 7.10
Nivel 1	Cuadro 3.15	Factores de ajuste geográfico para los factores de emisión de CO <sub>2</sub> para la producción de etileno	-10% a +10%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9
Nivel 1	Cuadro 3.16	Factores de emisión de metano para la producción de etileno	-10% a +10%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9
Nivel 1	Cuadro 3.17	Factores de emisión de CO <sub>2</sub> de los venteos de proceso para la producción de dicloruro de etileno/cloruro de vinilo	-20% a +10%	Documento IPPC LVOC BAT, Cuadro 12.6 y 12.7
Nivel 1	Cuadro 3.17	Factores de emisión de CO <sub>2</sub> para la producción de dicloruro de etileno/monómero cloruro de vinilo	-50% a +20%	Documento IPPC LVOC BAT, Cuadro 12.6 y 12.7
Nivel 1	Cuadro 3.18	Factores de consumo de sustancias de alimentación al proceso del dicloruro de etileno/cloruro de vinilo	-2% a +2%	Documento IPPC LVOC BAT, Sección 12.3.1, Página 300
Nivel 1	Cuadro 3.19	Factores de emisión de CH <sub>4</sub> del proceso del dicloruro de etileno/cloruro de vinilo	-10% a +10%	Documento IPPC LVOC BAT, Sección 12.3.1, Cuadro 12.4, Página 300
Nivel 1	Cuadro 3.20	Factores de emisión de CO <sub>2</sub> para la producción de óxido de etileno y el consumo de sustancias de alimentación al proceso	-10% a +10%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9
Nivel 1	Cuadro 3.21	Factores de emisión de CH <sub>4</sub> para la producción de óxido de etileno	-60% a +60%	Documento IPPC LVOC BAT, Cuadro 9.6, Página 233, Cuadro 9.8, Página 236, Cuadro 9.9, Página 236
Nivel 1	Cuadro 3.22	Factores de emisión de CO <sub>2</sub> para la producción de acrilonitrilo	-60% a +60%	Documento IPPC LVOC BAT, Sección 12.3.1, Cuadro 11.2, Página 274.

CUADRO 3.27 (CONTINUACIÓN)				
INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE PARA LOS FACTORES DE EMISIÓN Y LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD				
Método	Referencia	Factor	Intervalo de incertidumbre	Fuente
Nivel 1		Factores de emisión de CH <sub>4</sub> para la producción de acrilonitrilo	-10% a +10%	Boustead, 2003b ( <i>Eco-Profiles of the European Plastics Industry Methodology I</i> . Boustead, informe preparado para APME, julio de 2003, Página 40)
Nivel 1	Cuadro 3.23	Factores de emisión de CO <sub>2</sub> para la producción de negro de humo	-15% a +15%	Documento borrador IPPC LVIC BAT, Cuadro 4.11, Página 214
Nivel 1	Cuadro 3.24	Factores de emisión de CH <sub>4</sub> para la producción de negro de humo	-85% a +85%	Documento borrador IPPC LVIC BAT, Cuadro 4.8, Página 209
Nivel 2	Cuadro 3.25	Matriz alimentación-producto de la escisión al vapor del etileno	-10% a 10%	Dictamen de expertos por los Autores colaboradores de la Sección 3.9
Nivel 2	Cuadro 3.26	Factores de producción de productos secundarios para el proceso de producción del acrilonitrilo	-20% a +20%	Dictamen de expertos por los Autores principales de la Sección 3.9

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

#### 3.9.4.1 GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)

La Garantía de calidad/el Control de calidad para los factores de emisión y los datos de la actividad recurre a métodos para mejorar la calidad o comprender mejor la incertidumbre de las estimaciones de emisiones. Es una *buena práctica* efectuar verificaciones de control de calidad para el método de Nivel 1, como se indica en el Volumen 1, Capítulo 6. Si para determinar las emisiones se usan métodos de nivel 2 ó 3, han de aplicarse verificaciones de control de calidad y procedimientos de garantía de calidad más completos. Se alienta a los compiladores del inventario a utilizar un método de GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4.

#### Evaluación de los datos de la actividad para los métodos de Nivel 1 y Nivel 2

Los métodos de Nivel 1 y Nivel 2 dependen ambos de la aplicación de datos de la actividad para la producción petroquímica y de negro de humo y/o de datos de la actividad para el consumo de sustancias de alimentación a los procesos. No es de esperar que estos datos varíen en más de +/- 10 por ciento de un año para otro, y se excluyen los cambios significativos en la producción económica general del país, la construcción de nuevas capacidades de producción petroquímica u otros factores similares. Si los datos de la actividad varían en más de un +/- 10 por ciento de un año para otro, es una *buena práctica* evaluar y documentar las condiciones específicas del país que dan cuenta de estas diferencias.

#### Evaluación de los factores de emisión para el método de Nivel 1

Los compiladores del inventario que desarrollan los factores de emisión específicos del país para la producción petroquímica y de negro de humo y que aplican el método de Nivel 1 deben determinar si los factores de emisión estimados están dentro del intervalo de los factores de emisión por defecto y de los factores de emisión específicos de los procesos proporcionados en esta orientación para el método de Nivel 1. Si los factores de emisión caen fuera del intervalo de los factores declarados en esta Orientación deben investigarse las razones de esta situación (p. ej., la configuración del proceso difiere de la de los factores de emisión declarados en esta orientación; la sustancia de alimentación es un material exclusivo no considerado en esta Orientación.) Los compiladores del inventario deben también garantizar que los factores de emisión específicos del país sean coherentes con los valores derivados del análisis químico del proceso. Por ejemplo, para la producción de metanol a partir del gas natural, el contenido de carbono del CO<sub>2</sub> generado, según lo estimado mediante el factor de emisión, debe ser aproximadamente igual a la diferencia entre el contenido de carbono de la alimentación de gas natural y el contenido de carbono del producto metanol. Si los factores de emisión se sitúan fuera de los intervalos estimados, es una *buena práctica* evaluar y documentar las condiciones específicas de la planta que dan cuenta de las diferencias. Es también una *buena práctica* que los compiladores del inventario que usan los factores de emisión para el método de Nivel 1 incluidos en esta Orientación, efectúen verificaciones de control

de calidad para evaluar si las características de los datos del factor de emisión están en conformidad con las características de los procesos de producción petroquímica y de negro de humo en el país donde se aplica el factor de emisión.

### **Evaluación de los cálculos del método de balance de masas de Nivel 2**

La aplicación del método de balance de masas de Nivel 2 depende de la identificación y de la caracterización de los flujos del proceso. Para el método de Nivel 2, la incapacidad para identificar todos los contenidos de carbono de los flujos del proceso o una inapropiada caracterización de los índices de flujo o de los contenidos de carbono de tales flujos de proceso, puede resultar en una desviación significativa de las emisiones estimadas de CO<sub>2</sub> respecto de las emisiones reales de CO<sub>2</sub>. Generalmente, la calidad de los resultados de los cálculos de balance de masas de Nivel 2 dependen más de la calidad de los datos de la actividad que los resultados de los cálculos de Nivel 1, pues por lo general, en el método de Nivel 2 es necesario aplicar un mayor número de datos de la actividad que en el método de Nivel 1. En consecuencia, es una *buena práctica* evaluar y documentar la calidad de cada dato de la actividad aplicado al método de Nivel 2, así como la exhaustividad de los datos de la actividad, antes de aplicar el método de Nivel 2. Si la calidad de los datos o su exhaustividad se revelan inadecuados para la aplicación del método de Nivel 2, se debe aplicar el método de Nivel 1.

### **Evaluación de los datos específicos de planta para el método de Nivel 3**

El método de Nivel 3 está basado en la aplicación de datos de emisiones específicas de planta. Es una *buena práctica* que los compiladores del inventario efectúen auditorías de las estimaciones de emisiones específicas de planta que se utilizan en el inventario. Esto implica evaluar si los datos específicos de planta son representativos de las emisiones provenientes de la planta y, si al inventario nacional se aplican los datos específicos de planta correspondientes a una planta específica, evaluar si estos datos específicos de planta son representativos de los procesos de producción petroquímica y de negro de humo del país, considerados en su totalidad. La auditoría de los datos específicos de planta implicaría la evaluación de:

la documentación sobre la metodología de las mediciones específicas de la planta;

la documentación sobre los resultados de las mediciones específicas de la planta;

el método utilizado para los cálculos y las estimaciones;

las sustancia(s) de alimentación al proceso y el (los) producto(s) del proceso;

los datos de la actividad empleados en los cálculos de emisiones;

la documentación sobre la tecnología del proceso y su configuración;

la lista de hipótesis formuladas.

Si el proceso específico para el cual se obtienen datos específicos de la planta se considera no representativo de las otras plantas del país que producen el mismo producto petroquímico (p. ej., si difiere la alimentación al proceso o la configuración del proceso), entonces los datos específicos de la planta no deben aplicarse a la totalidad del inventario, sino sólo a los datos de la actividad sobre la planta específica. Si se recopilan mediciones de emisiones provenientes de plantas individuales, los compiladores deben garantizar que las mediciones se hayan efectuado según las normas nacionales o internacionales reconocidas y que los métodos de control de calidad hayan sido aplicados a estas mediciones. Los procedimientos de control de calidad en vigor en la planta deben referenciarse directamente e incluirse en el plan de control de calidad. Si las prácticas de medición no fueron coherentes con las normas de control de calidad o si los procedimientos de medición y los resultados no pueden documentarse de manera adecuada, el compilador debe reconsiderar el uso de los datos específicos de la planta.

### **3.9.4.2 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN**

Las emisiones provenientes de la combustión de descargas gaseosas generadas por los procesos de producción petroquímicos se atribuyen a la categoría de fuente del Sector IPPU que las produce y se declaran como emisiones provenientes de procesos industriales. Sin embargo, si una porción cualquiera de las descargas gaseosas generadas por una categoría de fuente del Sector IPPU se quema dentro de una categoría de fuente del Sector IPPU diferente, o se quema dentro de una categoría de fuente del Sector Energía, las emisiones correspondientes se declaran como emisiones provenientes de la quema de combustibles, en vez de emisiones provenientes de procesos industriales. Esto significa que si las emisiones provenientes de la combustión ocurren en la categoría de fuente del Sector IPPU que produce las descargas gaseosas, entonces las emisiones se declaran como emisiones de procesos industriales, atribuidas a esa categoría de fuente del Sector IPPU. Sin embargo, si las descargas gaseosas se transfieren fuera del proceso hacia otra categoría de fuente del Sector IPPU o hacia una categoría de fuente del Sector Energía, entonces las emisiones debidas a la combustión de las descargas gaseosas se declaran como emisiones provenientes de la quema de combustibles dentro de esa categoría de fuente. Cuando

se calcula el total de las emisiones debidas a la combustión de las descargas gaseosas, la cantidad transferida y declarada en el Sector Energía debe cuantificarse claramente en los cálculos para la categoría de fuente del Sector IPPU y del Sector Energía. Si se desarrolla un factor de emisión específico del país, deben proveerse los datos correspondientes sobre cómo se ha desarrollado el factor de emisión y sobre cómo éstos se han aplicado en el cálculo de las emisiones, incluidos los informes sobre la configuración del proceso de producción que haya servido de base a los cálculos del factor de emisión.

### **METANOL**

La cantidad de metanol producido, la cantidad de alimentación en gas natural consumida en la producción de metanol y la cantidad de CO<sub>2</sub> complementario de alimentación consumida en la producción de metanol deben declararse en función de su disponibilidad. Si se usa un factor de emisión por defecto, debe indicarse en la documentación del informe y debe declararse la configuración del proceso de producción de metanol para el caso en que no se utilice la configuración por defecto del proceso.

### **ETILENO**

La cantidad de cada sustancia de alimentación consumida en la producción de etileno, las cantidades de etileno y cada uno de los productos primarios producidos y recuperados como productos deben declararse en función de su disponibilidad. Si se usa un factor de emisión por defecto, debe indicarse en la documentación del informe y debe declararse la configuración y la(s) sustancia(s) de alimentación del proceso de producción de etileno para el caso en que no se utilicen la configuración por defecto del proceso ni la sustancia de alimentación por defecto del país o región.

### **DICLORURO DE ETILENO**

La cantidad de dicloruro de etileno producido y la cantidad de etileno de alimentación consumido para la producción de dicloruro de etileno deben declararse según la disponibilidad de los datos. Si se usa un factor de emisión por defecto, debe indicarse en la documentación del informe y debe declararse la configuración del proceso de producción de dicloruro de etileno para el caso en el que no se utilice la configuración por defecto del proceso.

### **ÓXIDO DE ETILENO**

La cantidad de óxido de etileno producido y la cantidad de etileno de alimentación consumido para la producción de óxido de etileno deben declararse según su disponibilidad de los datos. Si se usa un factor de emisión por defecto, debe indicarse en la documentación del informe y debe declararse la configuración del proceso de producción de óxido de etileno para el caso en que no se utilice la configuración por defecto del proceso.

### **ACRILONITRILO**

La cantidad de propileno de alimentación consumido en la producción de acrilonitrilo y las cantidades de acrilonitrilo, acetónitrilo y cianuro de hidrógeno producidos y recuperados como productos deben declararse en función de su disponibilidad. Si se usa un factor de emisión por defecto, esto debe indicarse en la documentación del informe y debe declararse la configuración del proceso de producción de acrilonitrilo para el caso en el que no se utilice la configuración por defecto del proceso.

### **NEGRO DE HUMO**

La cantidad de negro de humo producido y las cantidades y características (contenido de carbono) de cada sustancia de alimentación primaria y secundaria consumida en la producción de negro de humo deben declararse en función de su disponibilidad. Si se usa un factor de emisión por defecto, debe indicarse en la documentación del informe y debe declararse la configuración del proceso de producción de negro de humo para el caso en el que no se utilice la configuración por defecto del proceso.

## Anexo 3.9A Diagramas de flujo alimentación-producto

Figura 3.11 Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de metanol

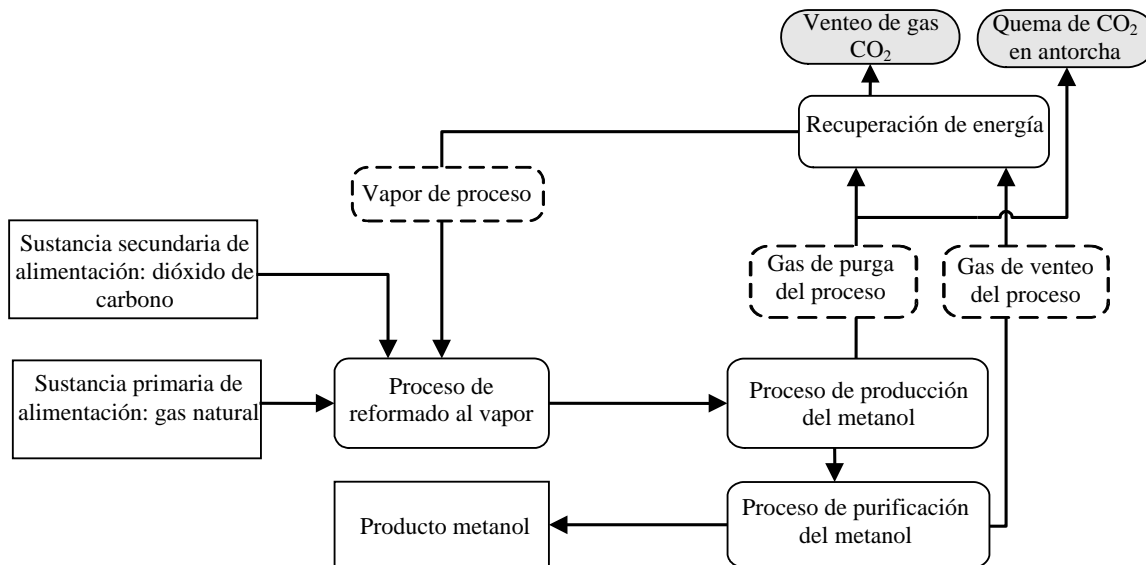


Figura 3.12 Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de dicloruro de etileno

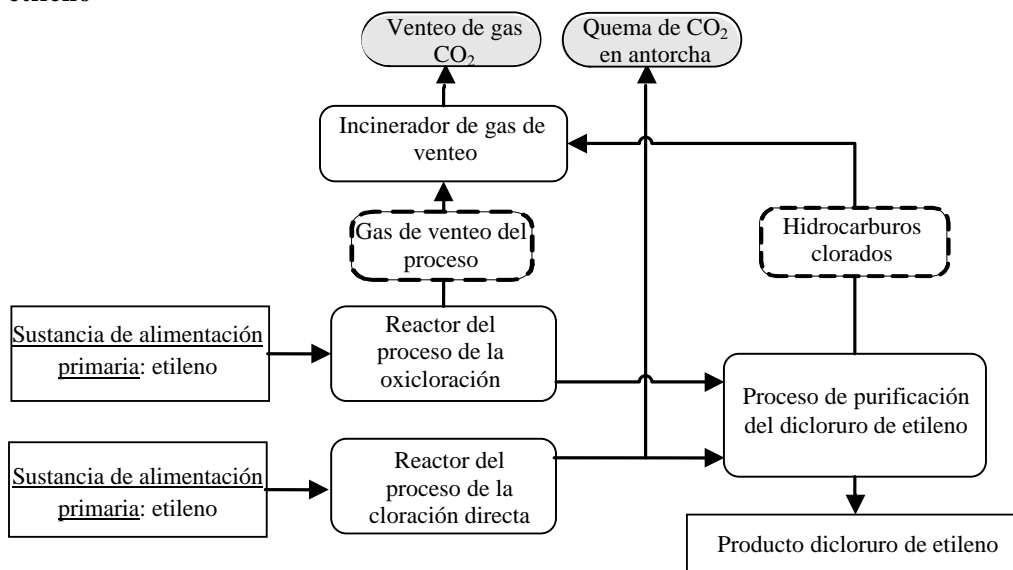


Figura 3.13 Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de óxido de etileno

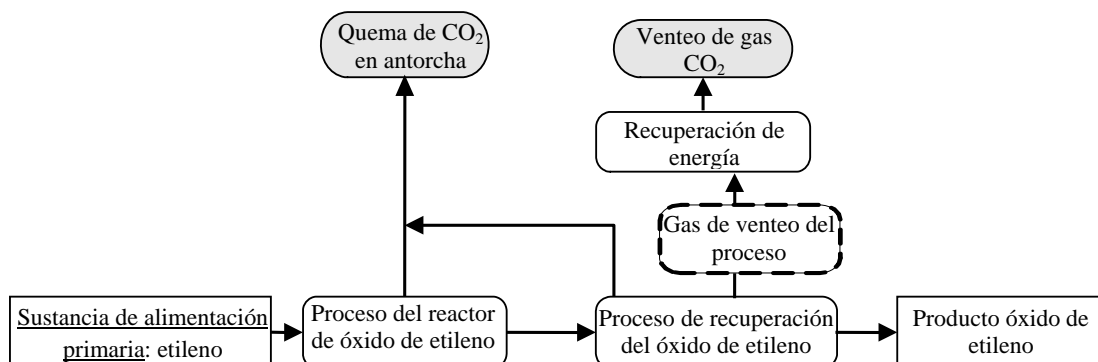


Figura 3.14 Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de acrilonitrilo

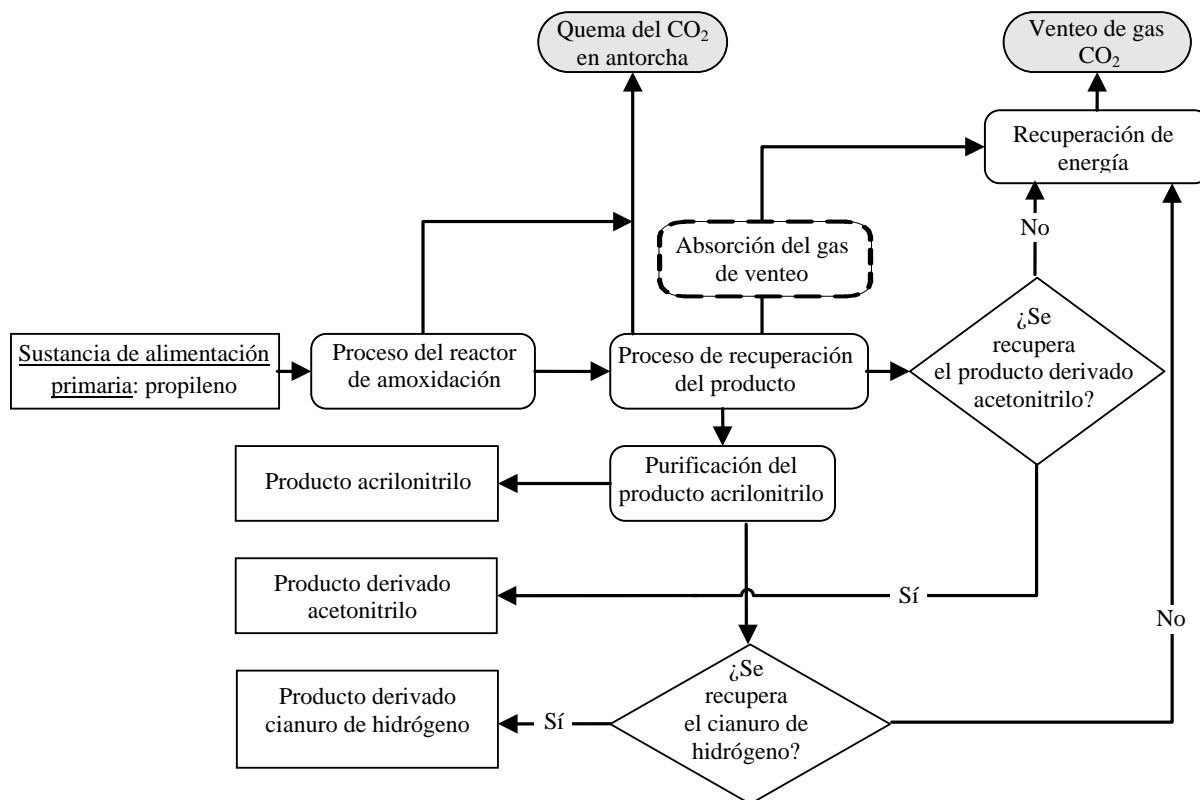
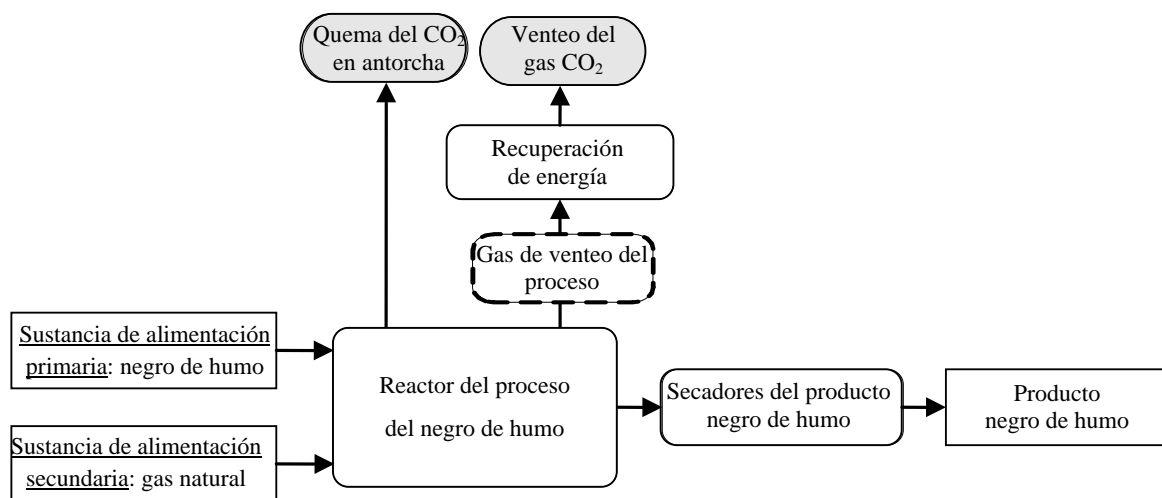


Figura 3.15 Diagrama de flujo alimentación-producto de la producción de negro de humo



### 3.10 PRODUCCIÓN FLUOROQUÍMICA

#### 3.10.1 Emisión de HFC-23 de la producción de HCFC-22

##### 3.10.1.1 INTRODUCCIÓN

El trifluorometano (HFC-23 o CHF<sub>3</sub>) se genera como un producto derivado durante la fabricación de clorodifluorometano (HCFC-22 o CHClF<sub>2</sub>).<sup>3</sup> Los materiales tales como el HFC-23 (y otros HFC, PFC y SF<sub>6</sub>) no

<sup>3</sup> Se emplea el HCFC-22 como refrigerante en diversas aplicaciones diferentes, como componente de mezcla en el soplado de espumas y como sustancia de alimentación para la fabricación de polímeros sintéticos.

son eliminados de manera significativa mediante los procesos de depuración acuosa (ácida, neutra o alcalina) y se liberan en la atmósfera. Se estima que en 1990, el HFC-23 liberado desde las plantas de HCFC-22 fue de un 4 por ciento, como máximo, de la producción de HCFC-22 (U.S. EPA, 2001), en ausencia de medidas de reducción. Mundialmente, hay un reducido número de plantas de producción de HCFC-22 y por tanto, un número discreto de fuentes por puntos de emisiones de HFC-23. Aún cuando la metodología aquí descrita es aplicable a las emisiones de productos derivados de cualquier gas fluorado de efecto invernadero, ésta ha sido redactada específicamente para el HFC-23. La metodología para las emisiones de productos derivado fluorados en general y para las «emisiones fugitivas» queda cubierta por la Sección 3.10.2

### 3.10.1.2 CUESTIONES METODOLÓGICAS

#### ELECCIÓN DEL MÉTODO

Existen dos métodos amplios de medición para estimar las emisiones de HFC-23 provenientes desde las plantas de HCFC-22. Se los describe en IPCC (2000), DEFRA (2002a y 2002b), EFCTC (2003) y UN (2004) y han sido traducidos en términos de las metodologías de Nivel 2 y 3 descritas más abajo. Las emisiones nacionales obtenidas mediante una u otra de estas metodologías corresponden a la suma de las emisiones de las instalaciones individuales. La metodología de Nivel 1 (por defecto) puede aplicarse a las plantas individuales, o si no hay reducción por destrucción, al total de la salida nacional de HCFV-22. La contabilización de las emisiones de HFC-23 no es simplemente mecánica sino que requiere información sobre las operaciones del proceso que son responsables de la producción y las emisiones de HFC-23, de modo que se puedan adoptar la metodología y los factores más apropiados. Por ello, es una *buena práctica* establecer contactos, en la medida de lo posible, con los directores de las plantas con el fin de obtener los datos necesarios.

El método de Nivel 1 es relativamente simple y consiste en la aplicación de un factor de emisión por defecto a la cantidad de HCFC-22 producido. Este método puede aplicarse al nivel de planta o al nivel nacional. Las metodologías de Nivel 2 y Nivel 3 son adecuadas sólo para los cálculos al nivel de las plantas pues se apoyan en datos que sólo se pueden obtener de las plantas. En los casos en los que se disponga de datos de Nivel 3 para algunas plantas, los métodos de Nivel 1 ó 2 pueden aplicarse a las plantas restantes para garantizar una cobertura completa.

Es una buena práctica estimar las emisiones nacionales sumando los parámetros medidos de todas las plantas de HCFC-22 de un país. Las mediciones de emisiones de Nivel 3 son las más exactas, seguidas por las mediciones de Nivel 2 basadas en la eficiencia de las plantas. La medición directa es significativamente más exacta que el Nivel 1 porque refleja las condiciones específicas de cada instalación de fabricación. En la mayoría de los casos, los datos necesarios para preparar las estimaciones de Nivel 3 deberían estar disponibles, pues las instalaciones que operan según las *buenas prácticas* del sector realizan muestreos regulares o periódicos de los venteos finales del proceso, o dentro del proceso mismo, como parte de las operaciones rutinarias. El método de Nivel 1 (por defecto) debe utilizarse sólo en los casos en que no se disponga de datos específicos de la planta y en que esta subcategoría no esté identificada como subcategoría significativa bajo la *categoría principal*. (Véase la Sección 4.2 del Volumen 1.) Las plantas modernas que utilizan una optimización del proceso tendrán que mantener datos muy exactos sobre la generación de HFC-23, como parte de esta optimización, de modo que los datos específicos de la planta puedan estar disponibles para la mayoría de los países y en la mayoría de los casos.

La selección del método de *buena práctica* depende de las circunstancias nacionales. En el árbol de decisión de la Figura 3.16 se describen *buenas prácticas* para adaptar los métodos de estas *Directrices* a las circunstancias nacionales.

Los procedimientos destinados a reducir las emisiones incluyen la destrucción del HFC-23 en una instalación particular y en este caso, las emisiones se producen sólo cuando la instalación de destrucción no está funcionando. El nivel de la metodología proporciona estimaciones para la cantidad de HFC-23 que se produce y la parte de la producción que se emite finalmente depende de la extensión del período en que la instalación de destrucción permanece fuera de uso. En las instalaciones donde se emplean técnicas de reducción tales como la destrucción del HFC-23, la verificación de la eficiencia de reducción se realiza también de manera rutinaria. Allí donde se haya verificado la reducción mediante los registros de los procesos en cada planta, es una *buena práctica* restar las emisiones reducidas de HFC-23 de las estimaciones nacionales.

#### Nivel 1

En la metodología de Nivel 1 se utiliza un factor por defecto para estimar la producción (y las emisiones potenciales) de HFC-23 de la producción total de HCFC-22 para cada instalación (tanto para los usos dispersivos potenciales, como se declaran en el Protocolo de Montreal, como para los usos en alimentación a procesos, los cuales se declaran separadamente a la Secretaría del ozono). Véase la Ecuación 3.30.



**ECUACIÓN 3.30**  
**CÁLCULO DE NIVEL 1 PARA EL HFC-23 MEDIANTE UN FACTOR POR DEFECTO**  
**A PARTIR DEL HCFC-22 (PRODUCIDO)**

$$E_{\text{HFC-23}} = EF_{\text{por defecto}} \cdot P_{\text{HCFC-22}}$$

Donde:

$E_{\text{HFC-23}}$  = emisiones de producto derivado HFC-23 de la producción de HCFC-22, kg.

$EF_{\text{por defecto}}$  = factor de emisión de HFC-23 por defecto, kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

$P_{\text{HCFC-22}}$  = producción total de HCFC-22, kg.

Esta metodología es adecuada allí donde no se disponga de mediciones específicas de planta y en ese caso, la condición por defecto es que toda la producción estimada de HFC-23 se libera hacia la atmósfera.

## Nivel 2

En la metodología de Nivel 2, el factor de emisión de HFC-23 se deriva de los registros sobre las eficiencias del proceso y se usa en el cálculo que se muestra en la Ecuación 3.31. Éste es un método de balance de materiales y depende del cálculo de la diferencia entre la producción esperada de HCFC-22 y la producción real y de la atribución de esta diferencia a las pérdidas de materias primas, a las pérdidas de producto (HCFC-22) y a la conversión en productos derivados, incluido el HFC-23. Estos parámetros serán diferentes para cada planta de modo que deben evaluarse por separado para cada instalación que declara para los datos nacionales.

**ECUACIÓN 3.31**  
**CÁLCULO DE NIVEL 2 PARA EL HFC-23 MEDIANTE FACTOR(ES) CALCULADOS**  
**DE LAS EFICIENCIAS DEL PROCESO A PARTIR DEL HCFC-22 (PRODUCIDO)**

$$E_{\text{HFC-23}} = EF_{\text{calculado}} \cdot P_{\text{HCFC-22}} \cdot F_{\text{liberado}}$$

Donde:

$E_{\text{HFC-23}}$  = emisiones de producto derivado HFC-23 de la producción de HCFC-22, kg.

$EF_{\text{calculado}}$  = factor de emisión de HFC-23 calculado, kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

$P_{\text{HCFC-22}}$  = producción total de HCFC-22, kg.

$F_{\text{liberado}}$  = fracción de año en que esta corriente es liberada sin tratar hacia la atmósfera, fracción

El factor de emisión puede calcularse tanto al partir de la eficiencia del carbono (Ecuación 3.32), y de la eficiencia del flúor (Ecuación 3.33) como del valor empleado en la Ecuación 3.31 debería ser normalmente el promedio de estos dos valores, a menos que existan consideraciones de excepción a la regla que puedan documentarse de manera adecuada (tales como una incertidumbre mucho menor para una de las mediciones de eficiencia).

Las eficiencias promedio anuales del balance de carbono y de flúor son características propias de una planta de HCFC-22 bien operada que están normalmente disponibles para el operador de la planta o que pueden obtenerse examinando los registros contables del proceso. Por igual, si existe un sistema de tratamiento de los venteos, la extensión de los períodos de funcionamiento y de tratamiento de las corrientes de venteo de la planta de HCFC-22 deben estar disponibles en los registros. La producción total de HCFC-22 incluye materiales que se utilizan como alimentación química al proceso así como los que se venden para usos dispersivos potenciales.

**ECUACIÓN 3.32**  
**CÁLCULO DEL FACTOR DE EMISIÓN DE HFC-23 DE LA EFICIENCIA DEL BALANCE DE CARBONO**

$$EF_{\text{balance de carbono}} = \frac{(100 - CBE)}{100} \cdot F_{\text{pérdida de eficiencia}} \cdot FCC$$

Donde:

$EF_{\text{balance de carbono}}$  = factor de emisión de HFC-23 calculado de la eficiencia del balance de carbono, kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

CBE = eficiencia del balance de carbono, porcentaje

$F_{\text{pérdida de eficiencia}}$  = factor de atribución de pérdida de eficiencia al HFC-23, fracción

FCC = factor para el contenido de carbono de este componente (= 0,81), kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

y

$$\text{ECUACIÓN 3.33}$$

$$\text{CÁLCULO DEL FACTOR DE EMISIÓN DE HFC-23 DE LA EFICIENCIA DEL BALANCE DE FLÚOR}$$

$$EF_{\text{balance de flúor}} = \frac{(100 - FBE)}{100} \cdot F_{\text{pérdida de eficiencia}} \cdot FCC$$

Donde:

$EF_{\text{balance de flúor}}$  = factor de emisión de HFC-23 calculado de la eficiencia del balance de flúor, kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

FBE = eficiencia del balance de flúor, porcentaje

$F_{\text{pérdida de eficiencia}}$  = factor de atribución de pérdida de eficiencia al HFC-23, fracción

FCC = factor para el contenido de flúor de este componente (= 0,54), kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

El factor de atribución de pérdida de eficiencia al HFC-23 es específico de cada planta y si se usa este método de cálculo, este factor debería haber sido determinado por el operador de la planta. Por defecto, este valor es de 1: vale decir, toda la pérdida de eficiencia es atribuida a la coproducción de HFC-23. En la práctica, ésta es generalmente la pérdida de eficiencia más significativa y es mucho más grande que las pérdidas de materias primas o productos.

Los factores del contenido de carbono y de flúor se calculan a partir de las composiciones moleculares del HFC-23 y del HCFC-22 y son comunes para todas las plantas de HCFC-22, con 0,81 para el carbono y 0,54 para el flúor.

### Nivel 3

Las metodologías de Nivel 3 son potencialmente las más exactas. Las metodologías de Nivel 3 aquí propuestas dan resultados equivalentes y la elección entre ellas estará impuesta por la información disponible en las instalaciones individuales. En este caso, la emisión nacional es la suma de las emisiones específicas de la fábricas, cada una de las cuales puede determinarse por un método de Nivel 3 para estimar la composición y el índice de flujo de las corrientes gaseosas que se ventean hacia la atmósfera (ya sea directa y continuamente — como en el Nivel 3a— o por monitoreo continuo de un parámetro del proceso relacionado con la emisión — Nivel 3b— o bien, por monitoreo continuo de la concentración de HFC-23 dentro de la corriente de producto del reactor —Nivel 3c):

$$\text{ECUACIÓN 3.34}$$

$$\text{CÁLCULO DE NIVEL 3a DE LAS EMISIONES DE HFC-23}$$

$$\text{A PARTIR DE LAS CORRIENTES INDIVIDUALES DEL PROCESO (MÉTODO DIRECTO)}$$

$$E_{\text{HFC-23}} = \sum_i \sum_j \int_t C_{ij} \cdot f_{ij} \quad [ \int_t \text{significa que la cantidad debe sumarse a lo largo del tiempo.} ]$$

Donde:

$E_{\text{HFC-23}}$  = emisiones totales de HFC-23: la suma sobre todas las plantas  $i$ , todas las corrientes  $j$  en cada planta, de los flujos de masa emitidos  $f$  y las concentraciones  $C$ , es integrada en el transcurso del tiempo  $t$ . (Véase la Ecuación 3.37 para el cálculo de las emisiones «instantáneas» de HFC-23 en una corriente de proceso individual.)

o bien, donde se utilice la metodología de sustitución:

$$\text{ECUACIÓN 3.35}$$

$$\text{CÁLCULO DE NIVEL 3b DE LAS EMISIONES DE HFC-23}$$

$$\text{A PARTIR DE LAS CORRIENTES INDIVIDUALES DEL PROCESO (MÉTODO SUSTITUTO)}$$

$$E_{\text{HFC-23}} = \sum_i \sum_j \int_t E_{ij} \quad [ \int_t \text{significa que esta cantidad debe sumarse a lo largo del tiempo.} ]$$

Donde:

$E_{\text{HFC-23}}$  = emisiones totales de HFC-23:  $E_{i,j}$  son las emisiones provenientes de cada planta y de cada corriente, determinadas mediante el método sustituto. (Véase la Ecuación 3.38 para el cálculo de las emisiones de HFC-23 en una corriente de proceso individual.)

o bien, donde se utilice la concentración de HFC-23 dentro de la corriente de producto del reactor:

**ECUACIÓN 3.36**  
**CÁLCULO DE NIVEL 3c DE LAS EMISIONES DE HFC-23**  
**A PARTIR DE LAS CORRIENTES INDIVIDUALES DEL PROCESO**  
**(POR MONITOREO DEL PRODUCTO DEL REACTOR)**

$$E_{\text{HFC-23}} = \sum_i \int_t C_i \cdot P_i \quad [ \int_t \text{ significa que esta cantidad debe sumarse a lo largo del tiempo. } ]$$

Donde:

$E_{\text{HFC-23}}$  = emisiones totales de HFC-23:  $P_i$  es el flujo de masa del producto HCFC-22 desde el reactor de la planta  $i$ , y  $C_i$  es la concentración de HFC-23 respecto del producto HCFC-22 de la planta  $i$ . (Véase la Ecuación 3.40 para el cálculo de las emisiones de HFC-23 en una instalación individual por medición interna en el proceso.)

### **Nivel 3a**

El método de Nivel 3a está basado en mediciones frecuentes o continuas de la concentración y del índice de flujo en la columna de venteo en una planta individual. De manera que la cantidad emitida hacia la atmósfera sea el producto matemático de la concentración de masa del componente de la corriente, el índice de flujo de la corriente total (en unidades compatibles con las de la concentración de masa) y la extensión del intervalo de tiempo en que ocurre el flujo:

**ECUACIÓN 3.37**  
**CÁLCULO DE NIVEL 3a DE LAS EMISIONES «INSTANTÁNEAS» DE HFC-23**  
**EN UNA CORRIENTE DE PROCESO INDIVIDUAL (MÉTODO DIRECTO)**

$$E_{ij} = C_{ij} \cdot f_{ij} \cdot t$$

Donde:

$E_{ij}$  = emisiones «instantáneas» de HFC-23 desde la corriente de proceso  $j$  en la planta  $i$ , kg.

$C_{ij}$  = concentración de HFC-23 en la corriente de gas efectivamente venteado **desde la corriente de proceso  $j$  en la planta  $i$** , kg. de HFC-23/kg. de gas

$f_{ij}$  = flujo de masa de la corriente de gas **desde la corriente de proceso  $j$  en la planta  $i$**  (por lo general medido volumétricamente y convertido en flujo de masa mediante métodos estándar de ingeniería de procesos), kg. de gas/hora

$t$  = extensión del intervalo de tiempo durante la cual se miden estos parámetros y permanecen constantes, horas

Si algo del HFC-23 se recupera desde la corriente de venteo para usarlo como sustancia de alimentación a procesos y, por ende, se le destruye, habrá que descontarlo de esta emisión; los materiales que se recuperan para usos en que pueden ser emitidos pueden descontarse aquí, si las emisiones están incluidas en la cantidad calculada mediante los métodos del capítulo 7. A diferencia de los métodos de Nivel 3b y 3c, y puesto que en este nivel las emisiones se miden directamente, no es necesario prever un término separado para el material recuperado.

La cantidad total de HFC-23 liberado corresponde entonces a la suma anual de estas liberaciones instantáneas medidas. Los periodos en que la corriente de venteo es procesada en una unidad de destrucción para eliminar el HFC-23 no deben contabilizarse en estos cálculos. Si fuera necesario estimar la cantidad destruida en cada instalación, el operador debe calcularlo basándose en la diferencia entre el tiempo de operación de la planta y la duración de las liberaciones (el tiempo  $t$ , indicado más arriba).

### **Nivel 3b**

En muchos casos las mediciones no son continuas sino que se obtienen durante un periodo de sondeo intensivo del proceso o de pruebas de la planta y los resultados de las pruebas pueden utilizarse para proporcionar un sustituto a los cálculos de emisiones durante los periodos de operación normal de la planta. En este caso, el índice de emisión del producto derivado está relacionado con un parámetro de más fácil medición (o más

exacto), tal como el índice de flujo de una sustancia de alimentación. Las pruebas deben cumplir con los requisitos siguientes:

No deben haberse producido cambios mayores en el diseño de procesos, la construcción ni en la operación que afecten a la planta en los flujos que preceden al punto de las mediciones y que pudieran haber modificado las relaciones entre emisiones y producción, perdiendo éstas su validez. (Véase también el Recuadro 3.14)

Las relaciones entre emisiones y el régimen operacional de la planta deben determinarse durante la(s) prueba(s), junto con sus incertidumbres.

Para casi todos los casos, el régimen operacional de la planta es un sustituto adecuado y la cantidad de HFC-23 emitido depende del régimen operacional actual y de la extensión del intervalo de tiempo durante el cual se liberó el flujo de venteo.

**ECUACIÓN 3.38**  
**CÁLCULO DE NIVEL 3B DE LAS EMISIONES DE HFC-23**  
**EN UNA CORRIENTE DE PROCESO INDIVIDUAL (MÉTODO SUSTITUTO)**

$$E_{ij} = S_{ij} \cdot F_{ij} \cdot POR_{ij} \cdot t - R_{ij}$$

Donde:

$E_{ij}$  = la emisión de masa de HFC-23 en la corriente de venteo ***j* en la planta *i*, kg.**

$S_{ij}$  = la emisión de masa estándar de HFC-23 en la corriente de venteo ***j* en la planta *i*** por «unidad» de cantidad sustituta, tal como el régimen operacional de la planta (descrito en la Ecuación 3.39, más abajo), kg./«unidad»

$F_{ij}$  = un factor adimensional que relaciona el índice de emisión de masa estándar con el índice de emisión en el punto real del régimen operacional de la planta. En muchos casos, la fracción producida no es sensible al régimen operacional y  $F_{ij}$  corresponde a la unidad (vale decir, el factor de emisión es proporcional al régimen operacional). En otros casos, el índice de emisión es una función más compleja del régimen operacional. En todos los casos  $F_{ij}$  debe derivarse durante las pruebas de la planta midiendo la producción de HFC-23 bajo diferentes regímenes operacionales. Para las situaciones en las que no se pueda determinar una función simple que relacione las emisiones con el régimen operacional a partir de las pruebas, el método sustituto no se considera apropiado y es deseable que se efectúen mediciones continuas.

$POR_{ij}$  = el régimen operacional actual del proceso aplicable a la corriente de venteo ***j* en la planta *i*** promediado en el tiempo ***t* en «unidades/hora»**. Las unidades de este parámetro deben ser coherentes entre las pruebas de planta que establecieron el índice de emisión estándar y las estimaciones de las emisiones operacionales en curso (descrito en la Ecuación 3.39, más abajo).

$t$  = la duración total real *del venteo* para el año, o el periodo, si el proceso no es operado de manera continua, en horas. Las emisiones anuales resultan de la suma de todos los periodos durante el año. Los periodos durante los cuales la corriente de venteo haya sido procesada en un sistema de destrucción no deben contabilizarse aquí.

$R_{ij}$  = la cantidad de HFC-23 recuperada para la corriente de venteo ***j* en la planta *i*** para usos como sustancia de alimentación a procesos y, por ende, destruida, kg. El material recuperado para usos en los cuales puede ser emitido potencialmente puede contabilizarse aquí si las emisiones están incluidas en las cantidades calculadas con los métodos para las sustancias sustitutas de las SAO, en el Capítulo 7 de este volumen.

**ECUACIÓN 3.39**  
**CÁLCULO DE NIVEL 3B DE LA EMISIÓN ESTÁNDAR PARA EL MÉTODO SUSTITUTO**

$$S_{T,ij} = C_{T,ij} \cdot f_{T,ij} / POR_{T,ij}$$

Donde (para cada prueba  $T$ ):

$S_{ij}$  = la emisión de masa estándar de HFC-23 en la corriente de venteo ***j* en la planta *i***, kg./«unidad» (en unidades compatibles con los factores de la Ecuación 3.38, véase  $POR_{T,ij}$ , más abajo)

$C_{T,ij}$  = la concentración fraccional de masa del HFC-23 en la corriente de venteo ***j* en la planta *i*** durante la prueba  $T$ , kg./kg.

$f_{T,ij}$  = el índice de flujo de masa promedio de la corriente de venteo ***j* en la planta *i*** durante la prueba  $T$ , kg./kg.

$POR_{T,ij}$  = la cantidad sustituta (tal como el régimen operacional del proceso) en la planta  $i$  durante la prueba  $T$ , «unidad»/hora. La «unidad» depende de la cantidad sustituta adoptada para la planta  $i$  y corriente de venteo  $j$  (por ejemplo, kg./hora o m<sup>3</sup>/hora o sustancia de alimentación)

### Nivel 3c

Es un procedimiento relativamente simple para monitorear la concentración de HFC-23 en el producto de un sistema de reacciones en relación con la cantidad de HCFC-22. Esto proporciona una base para las estimaciones de la cantidad de HFC-23 liberado, expresada como el producto matemático de la concentración monitoreada y el flujo de masa del HCFC-22 fabricado. Si no hay tratamiento del venteo para reducir las emisiones, éste es un procedimiento simple. Sin embargo, allí donde haya reducción de emisiones debe probarse que ésta trata efectivamente todas las corrientes que pueden liberarse hacia la atmósfera, incluidos los gases de venteo directos y la desgasificación de las corrientes acuosas. Estas últimas, en particular, puede que no pasen por una instalación de destrucción. Si ninguna corriente de venteo potencial es tratada, no puede utilizarse este método.

**ECUACIÓN 3.40**  
**CÁLCULO DE NIVEL 3c DE LAS EMISIONES DE HFC-23**  
**DESDE UNA INSTALACIÓN INDIVIDUAL POR MEDICIÓN AL INTERIOR DEL PROCESO**

$$E_i = C_i \cdot P_j \cdot t_F - R_i$$

Donde:

$E_i$  = emisiones de HFC-23 desde una instalación individual  $i$ , kg.

$C_i$  = la concentración de HFC-23 en el producto del reactor en la instalación  $i$ , kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22

$P_j$  = la masa de HCFC-22 producida en la instalación  $i$  mientras se aplica esta concentración, kg.

$t_F$  = la duración fraccional durante la cual este HFC-23 se ventea efectivamente hacia la atmósfera, en vez de ser destruido, fracción

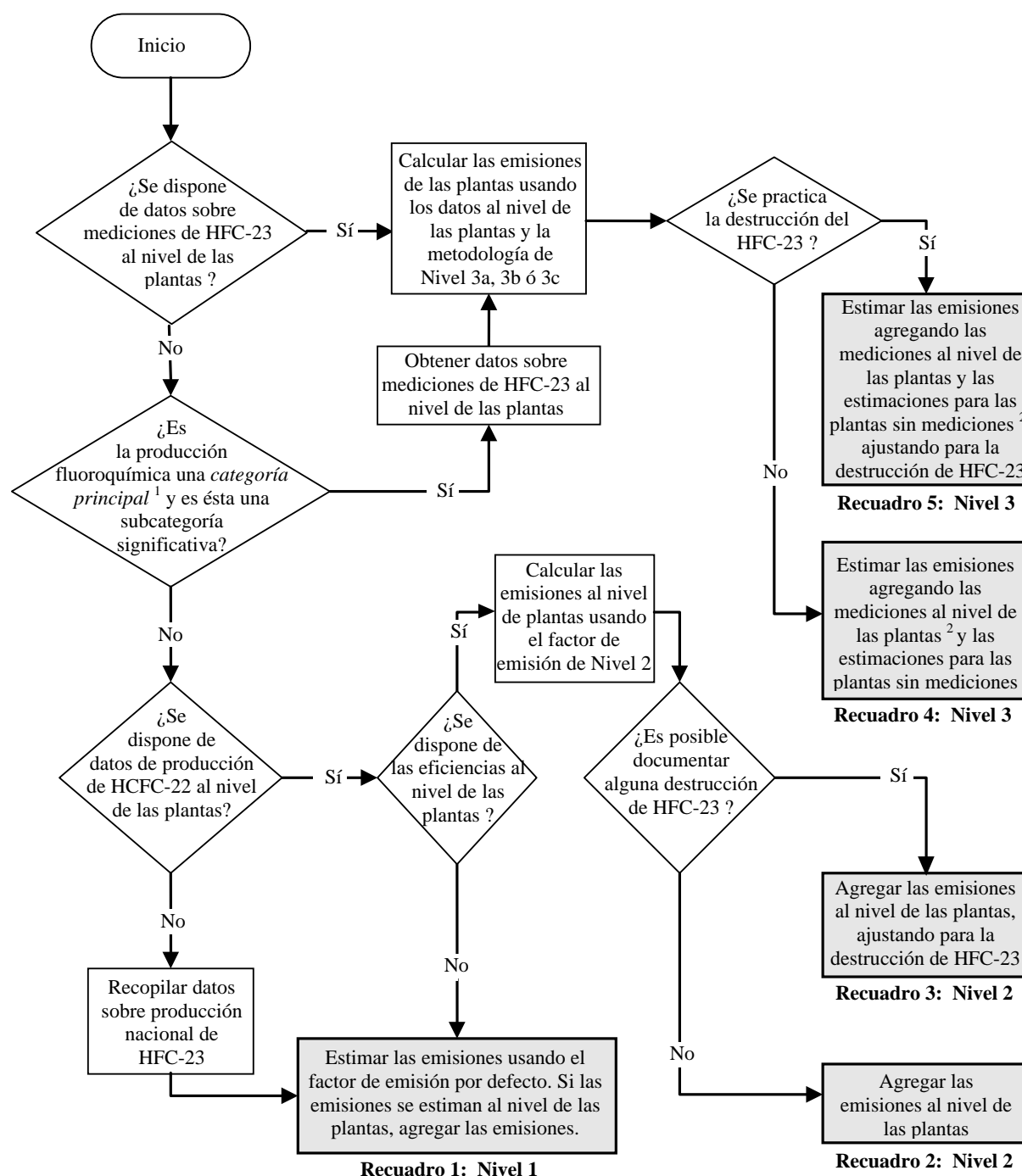
$R_i$  = la cantidad de HFC-23 recuperado de la instalación  $i$  para usos como sustancia de alimentación a procesos y, por ende, destruida, kg. El material recuperado para usos en los cuales puede ser emitido potencialmente puede contabilizarse aquí si las emisiones están incluidas en las cantidades calculadas con los métodos del Capítulo 7 de este volumen.

La cantidad total de HFC-23 liberado hacia la atmósfera es la suma de las cantidades provenientes de los periodos individuales de liberación y de los sistemas de reacción individuales.

El HFC-23 que se recupera para usarlo como sustancia química de alimentación a procesos debe restarse de la cantidad total estimada aquí.

En síntesis, el método de Nivel 1 es relativamente simple y consiste en la aplicación de un factor de emisión por defecto a la cantidad de HCFC-22 producido. Este método puede aplicarse al nivel de planta o al nivel nacional. Las metodologías de Nivel 2 y 3 son adecuadas sólo para los cálculos de nivel de planta. En los casos en que se disponga de datos de Nivel 3 para algunas plantas, los métodos de Nivel 1 ó 2 pueden aplicarse a las demás para garantizar una cobertura completa. La incertidumbre en la emisión nacional se calcula entonces mediante el uso de incertidumbres ponderadas de las fuentes individuales y de técnicas estadísticas estándar. Independientemente del método, las emisiones reducidas deben restarse de la estimación bruta de cada planta para determinar las emisiones netas antes de que éstas sean sumadas para la estimación nacional.

**Figura 3.16** **Árbol de decisión para las emisiones de HFC-23 provenientes de la producción de HCFC (u otras emisiones similares de productos derivados de la producción fluoroquímica)**



Notas:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4.

Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

2. Si se dispone de datos de Nivel 3 para algunas plantas, se puede aplicar los métodos de Nivel 1 ó Nivel 2 a las demás para garantizar una cobertura exhaustiva.

Es una *buen práctica* emplear el método de Nivel 3 en la medida de lo posible. La medición directa es significativamente más exacta que el Nivel 1 porque refleja las condiciones específicas de cada planta de fabricación. En la mayoría de los casos, los datos necesarios para preparar las estimaciones de Nivel 3 deberían estar disponibles, pues las instalaciones que operan según las *buenas prácticas* del sector realizan, como parte de las operaciones rutinarias, muestreos regulares o periódicos de los venteos finales del proceso o dentro del proceso mismo. En las instalaciones donde se emplean técnicas de reducción tales como la destrucción del HFC-23, la verificación de la eficiencia de reducción se realiza también de manera rutinaria. El método de Nivel

1 (por defecto) debe utilizarse sólo en los raros casos en que no se disponga de datos específicos de la planta y en que esta subcategoría no esté identificada como sub-categoría significativa bajo la *categoría principal*. (Véase la Sección 4.2 del Volumen 1.)

### ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

En el método de Nivel 3 se dan varias posibilidades de medición relacionadas con la ubicación y la frecuencia de los muestreos. En general, las mediciones directas de las emisiones de HFC-23 pueden otorgar la mayor exactitud, pero las mediciones continuas o frecuentes de los parámetros dentro del área misma del proceso pueden ser más prácticas e igualmente exactas. En ambos casos, la frecuencia de las mediciones debe ser suficientemente elevada como para representar la variabilidad en el proceso (p. ej., a lo largo de la vida útil del catalizador). Los temas relacionados con la frecuencia de las mediciones están resumidos en el Recuadro 3.14, Frecuencia de las mediciones de planta. En el Volumen 1, Capítulo 2 se proporcionan consejos generales sobre muestreos y representatividad.

En los casos en que no se disponga de mediciones o muestreos específicos de la planta y en que se usen métodos de Nivel 1, debe emplearse el factor de emisión por defecto, suponiendo que no hay métodos de reducción. Para las plantas que operan desde antes de 1995, el factor de emisión por defecto es de 0,04 kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22 (4 por ciento) (IPCC, 1996; USEPA, 2001). Es un valor por defecto que debe utilizarse cuando no hay mediciones y describe la salida del HFC-23 de una planta típica de HCFC-22, en ausencia de la recuperación o destrucción de HFC-23. Este valor es coherente con las observaciones atmosféricas de las concentraciones de HFC-23 durante el periodo de 1978 a 1995 (Oram *et al.*, 1998). Éstas revelaron que el promedio de las emisiones mundiales eran equivalentes al 2 por ciento de la cantidad total del HCFC-22 producido en una época en que se recuperaba una cantidad significativa de HFC-23 y se convertía en halón 1301 (McCulloch, 1992) y en que se requería la práctica de la reducción en varios países donde la producción era significativa.

Es posible reducir la producción, por un proceso de optimización, a un valor comprendido entre 0,014 y 0,03 kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22 (1,4 a 3 por ciento), pero no es posible eliminar por completo la formación de HFC-23 por esta vía (IPCC, 2000). Más aún, la cuantía de la reacción de reducción depende mucho del diseño del proceso y del entorno económico (a menudo, las medidas para reducir el HFC-23 pueden reducir la salida del proceso). En un proceso optimizado, la producción y las emisiones de HFC-23 habrán sido medidas invariablemente. No es posible optimizar la operación del proceso sin tales mediciones y, por esto, los valores por defecto para una planta individual no tienen sentido en este contexto. Sin embargo, las tecnologías de última generación han avanzado mediante la optimización de plantas individuales y estos avances deben haber sido incorporados al diseño de las plantas recientes, lo cual sugiere un factor de emisión de 0,03 kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22 (3 por ciento). Estos valores por defecto poseen una incertidumbre elevada (alrededor del 50 por ciento). Para realizar evaluaciones más exactas, las emisiones reales deben determinarse mediante las metodologías de Nivel 2 ó 3, y si fuera necesario, deben atribuirse a años anteriores haciendo uso de la orientación proporcionada en el Capítulo 7 de este volumen.

<b>CUADRO 3.28</b>	
<b>FACTORES DE EMISIÓN DE HFC-23 POR DEFECTO</b>	
<b>Tecnología</b>	<b>Factor de emisión (kg. de HFC-23/kg. de HCFC-22 producido)</b>
Plantas antiguas no optimizadas (p. ej., 1940 a 1990/1995)	0,04
Plantas de diseño reciente, no optimizadas específicamente	0,03
Promedio mundial de emisiones (1978 – 1995) <sup>4</sup>	0,02
<i>A título de comparación:</i>	
<i>Grandes plantas optimizadas –que requieren mediciones de HFC-23 (Nivel 3)</i>	<i>Reducido a 0,014</i>
<i>Plantas con captura efectiva y destrucción de HFC-23 (Nivel 3)</i>	<i>Reducido a cero</i>

<sup>4</sup> El promedio mundial se calcula a partir de los cambios en la concentración atmosférica del HFC-23. Éste no discrimina entre las emisiones de planta, que varían entre cero hasta más del 4 por ciento de la producción de HCFC-22.

**RECUADRO 3.14**  
**FRECUENCIA DE LAS MEDICIONES DE PLANTA**

El grado de exactitud y la precisión de las estimaciones de las emisiones anuales de HFC-23 dependen de la cantidad de muestras (la frecuencia de la recopilación de muestras) acompañadas del grado de exactitud de las mediciones de los índices de flujo y de la medida en que las mediciones de flujo puedan ser representativas de la cantidad total venteadada. Dado que los procesos de producción no son del todo estáticos, mientras más grande sea la variabilidad del proceso, más frecuentemente las plantas necesitan efectuar mediciones. Como regla general, los muestreos y análisis deben repetirse toda vez que una planta introduzca cambios significativos en el proceso. Antes de elegir una frecuencia de muestreo, la planta debe fijarse un objetivo para la exactitud y utilizar herramientas estadísticas para determinar el tamaño de las muestras que permitan alcanzarlo. Por ejemplo, un estudio de los productores de HCFC-22 indica que un muestreo diario es suficiente para alcanzar una estimación anual extremadamente exacta. Este objetivo de exactitud debe luego revisarse, si fuera necesario, para tomar en cuenta los recursos disponibles. (RTI, Cadmus, 1998)

## ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Al emplear un método de Nivel 1, los datos de producción deben obtenerse directamente de los productores. Existen varias vías por las cuales los productores pueden determinar sus niveles de producción, incluidos el peso de los envíos y las mediciones de volumen multiplicado por la densidad, mediante medidores de flujo. Estos datos deben dar cuenta de toda la producción de HCFC-22 para el año, sea ésta para la venta o para uso interno como alimentación a procesos, y la planta debe describir cómo se determina la tasa de producción del HCFC-22. En algunas circunstancias, los productores pueden considerar que los datos de producción de la planta son confidenciales. Para los datos de la actividad de nivel nacional, la presentación de los datos de producción de HCFC-22 es un requisito del Protocolo de Montreal.

## EXHAUSTIVIDAD

Debería ser posible obtener datos completos de muestreos pues en cada país existe sólo un número reducido de plantas de HCFC-22 y es práctica corriente que cada operador de planta monitoree las eficiencias del proceso, y en consecuencia, las pérdidas de HFC-23, lo cual conduce a la adopción de la metodología de Nivel 2. Las eficiencias de las destrucciones de los oxidantes térmicos utilizados para reducir el HFC-23 suelen ser altas (> 99 por ciento), pero es importante determinar la composición del gas de salida, de modo que se garantice que se ha tomado en cuenta las emisiones de gases fluorados de efecto invernadero desde este punto.

## DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

La emisión de HFC-23 a partir de la producción de HCFC-22 debe estimarse utilizando el mismo método para toda la serie temporal y para los factores de emisión apropiados. Si no se dispone de datos de Nivel 3 para cualquiera de los años de la serie temporal, estas lagunas deben completarse según la orientación entregada en el Volumen 1, Capítulo 5.

### 3.10.1.3 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

#### NIVEL 1

A diferencia de los otros Niveles, donde las incertidumbres se basan en mediciones y en estadísticas, las incertidumbres del Nivel 1 se evalúan a través del dictamen de expertos y, según lo que se conoce sobre la variabilidad de las emisiones desde diferentes instalaciones de fabricación, para el Nivel 1 debe considerarse un error cercano al 50 por ciento. Un error de esta magnitud sobrepasará completamente la incertidumbre asociada a la actividad.

#### NIVEL 2

La incertidumbre del resultado del Nivel 2 se calcula mediante la raíz de la suma cuadrática de las incertidumbres individuales para las cantidades y las eficiencias de masa de la producción, suponiendo que las incertidumbres para el carbono y el flúor son iguales. Si las incertidumbres de la eficiencia del carbono y del flúor difieren significativamente (lo suficiente como para causar una diferencia concreta respecto de la emisión calculada), debe usarse el valor con la incertidumbre menor para la totalidad de los cálculos.

La incertidumbre en los valores derivados por el método de Nivel 2 es mucho mayor que lo que esperado del Nivel 3, pero es, a pesar de todo, cuantificable. Típicamente, para una planta que produce alrededor de un 4 por ciento de HFC-23, la eficiencia del carbono se sitúa en el intervalo de un 95 por ciento y la eficiencia del flúor, en el intervalo de un 92 por ciento. Si estas eficiencias pueden medirse con un margen de error del 1 por ciento, entonces el error en la estimación de Nivel 2 para el HFC-23 sería inferior al 20 por ciento. La estimación de las



eficiencias con este grado de exactitud requiere que los procedimientos de contabilización sean rigurosos y que todas las materias primas y los productos para la venta sean pesados al entrar y al salir de la instalación. Un tal régimen fija así la exactitud esperada de la actividad general (tanto para el Nivel 1 como para el Nivel 2); mediante una buena contabilización de la producción por peso, debería ser posible reducir el error en la actividad por debajo del 1 por ciento.

### **NIVEL 3**

Para el HFC-23, el método de Nivel 3 es significativamente más exacto que cualquiera de los otros métodos, ya sea el de Nivel 2 con mediciones o el de Nivel 1 por defecto. El muestreo regular de Nivel 3 de la corriente de venteo puede alcanzar una exactitud del 1 al 2 por ciento con un nivel de confianza de 95 por ciento para las emisiones de HFC-23 y el resultado de incertidumbre de Nivel 3 (sustituto) puede ser similar. En ambos casos, la incertidumbre puede calcularse estadísticamente de las incertidumbres de los parámetros de la entrada, y puesto que estos métodos no dependen de factores de emisión ni de actividades, el concepto de subdividir la incertidumbre carece de validez.

La incertidumbre de las estimaciones se expresa como coeficiente de varianza (porcentaje), y para cada una de estas corrientes, existirá una incertidumbre como consecuencia de las incertidumbres en la concentración y el índice de flujo medidos y de la incertidumbre en la duración del flujo. La incertidumbre combinada puede determinarse analíticamente y debe calcularse mediante la metodología estándar descrita en el **Capítulo 3 del Volumen 1**.

#### **3.10.1.4 GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD (GC/CC), GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN**

##### **GARANTÍA DE CALIDAD / CONTROL DE CALIDAD (GC/CC)**

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

Además de la orientación del Volumen 1, se delinean a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

##### **Comparación de las estimaciones de emisiones mediante diferentes métodos**

Los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones de emisiones declaradas con las que se hayan determinado mediante el factor por defecto de Nivel 1 y los datos de producción. Si sólo se dispone de datos sobre la producción nacional, deben comparar las emisiones agregadas de las plantas agregadas con una estimación nacional por defecto. Si la comparación arroja diferencias significativas, deben responder a las siguientes preguntas:

- ¿Existen inexactitudes asociadas con alguna de las estimaciones de las plantas individuales? (p. ej., un valor atípico extremo puede estar dando cuenta de una cantidad no razonable de emisiones.)
- ¿Difieren significativamente los factores de emisión específicos de planta entre sí?
- ¿Son coherentes los índices de producción específicos de las plantas con los índices de producción publicados al nivel nacional?
- ¿Existe alguna otra explicación para una diferencia significativa, tales como el resultado de controles, la manera cómo se declara la producción o posibles hipótesis no documentadas?

##### **Verificación de la medición directa de emisiones**

Los compiladores del inventario deben confirmar que para las mediciones de planta se hayan aplicado métodos estándar y reconocidos internacionalmente. Si las prácticas de medición no cumplen con este criterio, entonces se debe evaluar cuidadosamente el uso de tales datos de emisiones. Es también posible que en los sitios donde están en vigor altos estándares de mediciones y de GC/CC, la incertidumbre en la estimación de emisiones sea revisada a la baja.

El proceso de GC/CC de cada planta debe ser evaluado para determinar si la cantidad de muestras y la frecuencia de recopilación de muestras son apropiadas, dada la variabilidad del proceso en sí.

Donde sea posible, los compiladores deben verificar todos los datos medidos y calculados comparándolos con los de otros sistemas de medición o de cálculo. Por ejemplo, la medición de emisiones dentro del proceso mismo puede verificarse periódicamente mediante mediciones en la corriente de venteo. Los compiladores del inventario deben verificar la utilización y la eficiencia del sistema de reducción de emisiones.

Mediante una auditoría externa periódica de las técnicas de medición y de los resultados de las mediciones de la planta, es posible también comparar los factores de emisión implicados entre las diferentes plantas y dar cuenta de las diferencias mayores.

## **GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN**

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

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

Para asegurar la transparencia de los informes, las emisiones de HFC-23 de la producción de HCFC-22 deben declararse como un rubro aparte, en vez de incluirlas en otras emisiones de HFC.

La documentación debe incluir también:

- la descripción metodológica;
- la cantidad de plantas de HCFC-22;
- la producción de HCFC-22 (si hay múltiples productores);
- la presencia de tecnologías de reducción de emisiones;
- las descripciones de los procesos, parámetros operativos; y
- los factores de emisión relacionados.

### **Confidencialidad**

El empleo de los métodos de Nivel 2 y de Nivel 3 significaría que las emisiones de HFC-23 de las plantas son declaradas separadamente de la producción de HCFC-22. Al desvincular las emisiones de HFC-23 y la producción de HCFC-22, los datos sobre emisiones de HFC-23 no pueden considerarse como confidencias comerciales pues, sin un conocimiento detallado y confidencial de la planta de fabricación individual, no revelan los niveles de producción de HCFC-22.

La aplicación del método de Nivel 1 a la producción nacional total de HCFC-22, permitiría que los datos de producción se calculen a partir de las emisiones publicadas de HFC-23 y, si hubiera menos de tres productores, tales datos podrían ser considerados información comercial confidencial. En tales casos, deben tomarse medidas para proteger la confidencialidad, por ejemplo, mediante la agregación de todas las emisiones de HFC. Por razones de transparencia, toda vez que se practique la agregación de datos, se debe incluir un análisis cualitativo de la producción de HCFC-22.

Cuando las emisiones nacionales se calculan como la suma de las emisiones provenientes de las instalaciones individuales y éstas se han calculado mediante metodologías diferentes, no es posible recalculer la producción de HCFC-22 a partir de estos datos solos y no debería haber problemas respecto de la confidencialidad.

## **3.10.2 Emisiones provenientes de la producción de otros compuestos fluorados**

### **3.10.2.1 INTRODUCCIÓN**

Un gran número de gases de efecto invernadero que contienen flúor pueden producirse como productos derivados de la fabricación fluorquímica y pueden ser emitidos hacia la atmósfera. Por ejemplo, en un reciente inventario nacional, para una planta fluorquímica se declararon emisiones significativas de productos derivados como: SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>F<sub>10</sub>, C<sub>5</sub>F<sub>12</sub> y C<sub>6</sub>F<sub>14</sub> (UNFCCC, 2005). Otros ejemplos incluyen la liberación del producto derivado CF<sub>4</sub> de la producción de CFC-11 y 12 o de SF<sub>6</sub> a partir de la producción hexafluoruro de uranio, en el ciclo del combustible nuclear.

Las emisiones de una sustancia química ocurren durante su producción y distribución o como producto derivado durante la producción de una sustancia química relacionada (el HFC-23 de la producción de HCFC-22 está cubierto específicamente en la Sección 3.10.1, más arriba). Puede haber también emisiones provenientes del material que se está produciendo: las llamadas «emisiones fugitivas». Las emisiones, tanto de productos derivados como fugitivas, se calculan de la misma manera. En esta sección no se abordan específicamente las emisiones asociadas con el uso, las cuales se contabilizan en las emisiones relacionadas con el consumo (véanse los Capítulos 4.5, 6, 7 y 8 de este volumen). Típicamente, los productos fluoroquímicos pueden liberarse de procesos químicos que abarcan un amplio espectro de tecnologías y procesos<sup>5</sup>:

- Proceso de telomerización empleado en la producción de fluidos y polímeros fluoroquímicos;
- Fotooxidación del tetrafluoroetileno para fabricar fluidos fluoroquímicos;
- Fluoración directa utilizada a menudo en la producción de SF<sub>6</sub>;
- Procesos de intercambio de halógenos para fabricar los PCF de bajo punto de ebullición, tales como C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> y CF<sub>4</sub>, HFC 134a y 245fa;
- Fabricación del NF<sub>3</sub> por fluoración directa;
- Producción de hexafluoruro de uranio;
- Producción de monómeros fluorados como el tetrafluoroetileno y el hexafluoropropileno;
- Producción de agroquímicos fluoroquímicos;
- Producción de anestésicos fluoroquímicos.

Los procesos de intercambio de halógenos se utilizan de manera extensiva para la fabricación de los HFC, mientras que la mayoría de los PFC y el SF<sub>6</sub> requieren flúor elemental, generado electroquímicamente. En los procesos de «fluoración electroquímica», el flúor no se separa sino que se integra al producto deseado en la célula electroquímica. En otros procesos, el flúor se separa y se utiliza seguidamente, ya sea como gas elemental o como un componente de un sistema de transporte como el CoF<sub>3</sub>. A cada proceso corresponderá un espectro diferente de emisiones, en términos, tanto de la naturaleza química como de las cantidades, por lo cual una función de emisión por defecto común a todos es relativamente de poco valor. Es esencial que se identifique la existencia de plantas potencialmente emisoras dentro de cada país y en consecuencia, esta etapa es la primera en el árbol de decisión (Figura 3.17). El factor común de estas plantas es el uso del fluoruro de hidrógeno anhidro, que es la fuente de flúor en el proceso de intercambio de halógenos y en los procesos que emplean el flúor elemental. La producción e importación de fluoruro de hidrógeno anhidro puede utilizarse entonces como un medio de seguimiento de los productores significativos de sustancias fluoroquímicas. Investigaciones ulteriores (véase la Figura 3.17) pueden entonces dilucidar si hay o no emisiones significativas de gases fluoroquímicos de efecto invernadero.

### 3.10.2.2 CUESTIONES METODOLÓGICAS

#### ELECCIÓN DEL MÉTODO

Es una *buena práctica* elegir el método utilizando el árbol de decisiones que se muestra en la Figura 3.17. Si la Categoría 2B9 Producción fluoroquímica se identifica como *principal* y se juzga que esta subcategoría es significativa, los compiladores del inventario deben considerar si las emisiones están o no dominadas por la producción de un subconjunto de sustancias químicas, y concentrar los esfuerzos más sofisticados de recopilación de datos en la producción de estas sustancias. El número de productores principales de estos gases fluorados de efecto invernadero es bastante reducido: en el caso del SF<sub>6</sub>, en el mundo existen alrededor de 6 compañías que poseen cerca de 10 instalaciones de producción al nivel mundial (Preisegger, 1999). El número de productores más pequeños puede aumentar en el futuro próximo, particularmente en los países en desarrollo. Sin embargo, no debería ser difícil compilar un censo de los productores nacionales.

#### Nivel 1

En la metodología de Nivel 1, puede usarse un factor de emisión por defecto, o un número similar derivado para las circunstancias particulares de un país, para estimar las emisiones nacionales relacionadas con la producción de gases fluorados de efecto invernadero individuales, como los HFC, PFC, SF<sub>6</sub> y otros.

<sup>5</sup> Esta lista es ilustrativa.

**ECUACIÓN 3.41**  
**CÁLCULO DE NIVEL 1 PARA LAS EMISIONES RELACIONADAS CON LA PRODUCCIÓN**

$$E_k = EF_{\text{por defecto},k} \bullet P_k$$

Donde:

$E_k$  = emisiones relacionadas con la producción del gas fluorado de efecto invernadero  $k$ , kg.

$EF_{\text{por defecto},k}$  = factor de emisión por defecto, kg./kg.

$P_k$  = producción total del gas fluorado de efecto invernadero  $k$ , kg.

Los problemas de confidencialidad que surjan de las declaraciones de datos sobre componentes específicos pueden evitarse proporcionando una cifra única para el total de las emisiones nacionales de cada HFC, PFC y SF6. Esto puede ser facilitado si los datos son recolectados por un tercero y declarados sólo como este total.

## Nivel 2

El método basado en las eficiencias del proceso, válido para las emisiones de HFC-23 de las plantas de HCFC-22, es de menor valor para otros tipos de plantas. Esto se debe en parte a la menor ineficiencia esperada de estas otras emisiones de productos derivados; es probable que la incertidumbre en la medición de eficiencias sea mucho mayor que el factor de emisión del producto derivado. Más aún, una gama de productos derivados puede ser responsable de la ineficiencia del proceso (a diferencia del caso del HCFC-22, donde predomina un producto derivado). Sin embargo, los datos sobre la eficiencia de producción deben existir para cada proceso, y en ausencia de estimaciones más rigurosas, la cantidad de emisiones estimadas a partir de las ineficiencias del proceso puede ser utilizada para tomar una decisión cualitativa respecto de si estas emisiones constituyen o no una subcategoría significativa bajo una *categoría principal* (en cuyo caso, se especifica la metodología de Nivel 3).

## Nivel 3

La metodología de Nivel 3 es potencialmente la más exacta de las estimaciones y corresponde a la suma de las emisiones específicas de la fábrica para cada producto derivado de gas fluorado de efecto invernadero que se haya determinado utilizando métodos de estimación estándar para la composición y el índice de flujo de las corrientes gaseosas que se ventean efectivamente hacia la atmósfera, después de aplicar cualquier tecnología de reducción. En este caso:

**ECUACIÓN 3.42**  
**CÁLCULO DE NIVEL 3 PARA LAS EMISIONES RELACIONADAS CON LA PRODUCCIÓN**

$$E_k = \sum_i \sum_j \int_t C_{ijk} \bullet f_{ijk} \quad [ \int_t \text{ significa que esta cantidad debe sumarse a lo largo del tiempo. } ]$$

Donde:

$E_k$  = total de las emisiones relacionadas con la producción del gas fluorado de efecto invernadero  $k$ , kg. la suma, para todas las planta  $i$ , sobre todas las corrientes  $j$  de cada planta, de los flujos de masa emitidos  $f$  y las concentraciones  $C$ , integrada con el tiempo  $t$ .

o bien, allí donde se use la metodología sustituta, por ejemplo, y donde el índice de emisión del producto derivado se haya normalizado en términos de un parámetro que se puede medir más fácilmente (o con mayor exactitud), tal como el índice de flujo de la alimentación al proceso, como se describe en la Ecuación 3.35 en la Sección 3.10.1:

**ECUACIÓN 3.43**  
**CÁLCULO DE NIVEL 3 SUSTITUTO PARA LAS EMISIONES RELACIONADAS CON LA PRODUCCIÓN**

$$E_k = \sum_i \sum_j \int_t E_{ijk} \quad [ \int_t \text{ significa que esta cantidad debe sumarse a lo largo del tiempo. } ]$$

Donde:

$E_k$  = total de las emisiones relacionadas con la producción del gas fluorado de efecto invernadero  $k$ , kg.

$E_{ijk}$  = las emisiones de gas fluorado de efecto invernadero  $k$  de cada planta  $i$  y de cada flujo  $j$  determinado por los métodos sustitutos descritos en las Ecuaciones 3.38 y 3.39 en la Sección 3.10.1

Nótese que, en general, los flujos se miden volumétricamente y que deben convertirse en flujos de masa (kg./hora), sobre la base de la ley del gas ideal, la temperatura, la presión y la composición; por igual, la concentración debe convertirse en unidades compatibles (p. ej., kg./kg.).

En este caso, los índices de flujo, las concentraciones y la duración deben calcularse separadamente para los periodos en que la tecnología de reducción está o no en funciones, y sólo deben sumarse y declararse los periodos que producen emisiones efectivas.

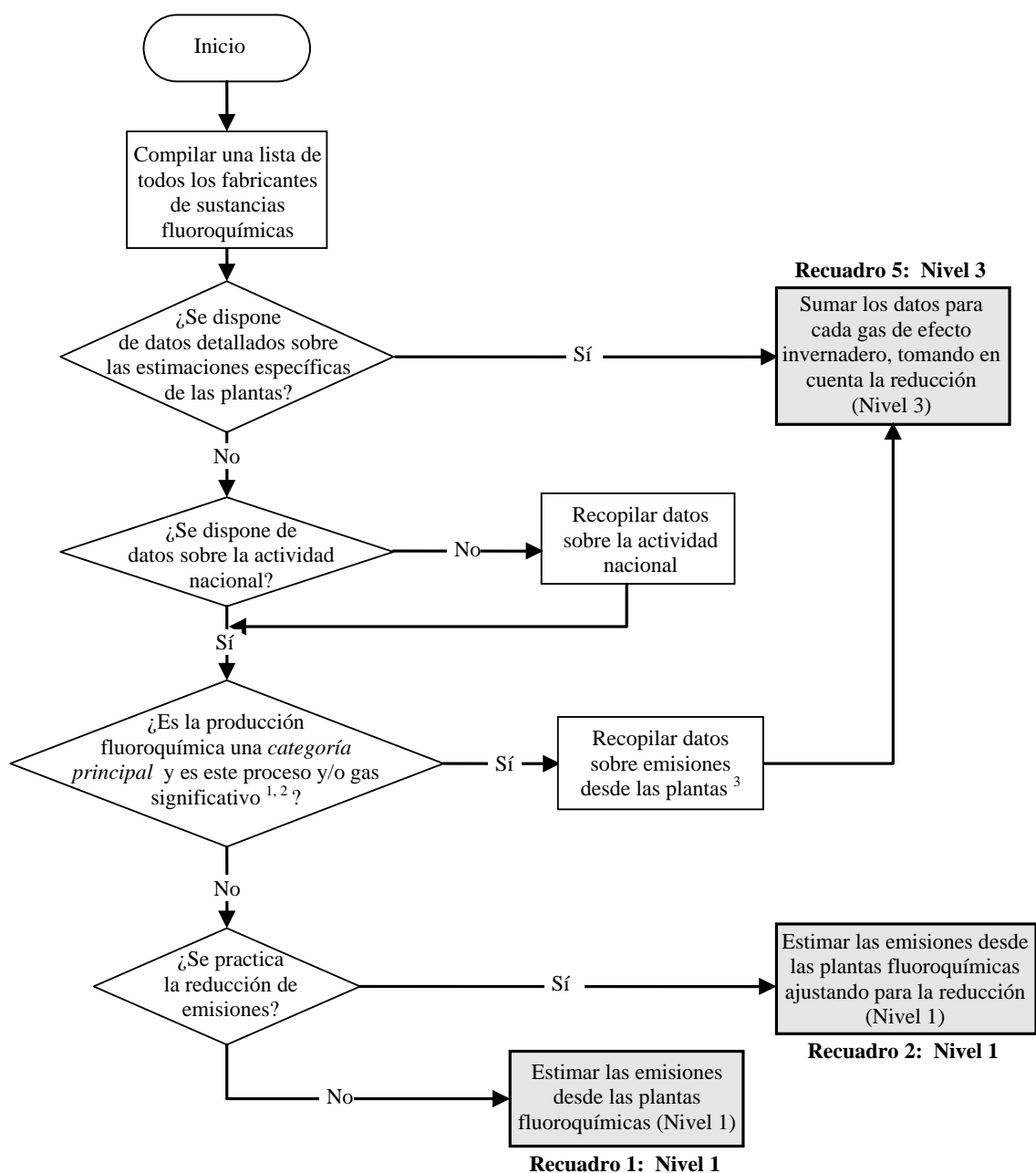
## ELECCIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN

El método de Nivel 3 depende de las mediciones de las cantidades de materiales individuales que se liberan hacia la atmósfera ni el método de Nivel 2 ni el de Nivel 3 dependen de los factores de emisión. Para el Nivel 1, en ausencia de medidas de reducción, para el HFC y el PFC se sugiere un factor de emisión por defecto de 0,5 por ciento de la producción, sin contar las pérdidas en el transporte y la transferencia de materiales, basándose en datos suministrados a la AFEAS (2004). Existe un amplio abanico de sustancias que pueden ser liberadas potencialmente. Sin embargo, los datos de la AFEAS han mostrado que los componentes que se pierden en la producción de una sustancia fluoroquímica particular, tienen, en general, propiedades de forzamiento radiativo similares a las de la sustancia fluoroquímica deseada. En consecuencia, para las fuentes que no son subcategorías significativas bajo la *categoría principal*, las emisiones fugitivas y las emisiones de productos derivados son las mismas y están incluidas en el factor de emisión de 0,5 por ciento.

En el caso del SF<sub>6</sub>, basándose en la experiencia alemana, se sugiere un factor de emisión por defecto de 0,2 por ciento de la cantidad total de SF<sub>6</sub> producido, para los países donde el uso final predominante no exige un gas SF<sub>6</sub> altamente purificado (p. ej., equipos eléctricos, ventanas aisladas) (Preisegger, 1999). Basándose en la experiencia del Japón, en los países donde los usos principales requieren de gas SF<sub>6</sub> altamente purificado (p. ej., fabricación de semiconductores), el valor por defecto debe ser de 8 por ciento, debido a las pérdidas por manipulación durante la eliminación del gas residual (es decir, el «resto» que no se usa ni se recicla) en los cilindros devueltos (Suizu, 1999). Si se dispone de datos nacionales, se los debe usar, en particular para otros materiales que no estén específicamente enumerados aquí.

Los factores de emisión por defecto se basan en situaciones en las que no se han aplicado medidas de reducción. Si la cantidad de gas emitido hacia la atmósfera es reducido por oxidación térmica de la corriente de venteo, por ejemplo, la cantidad emitida debe ajustarse para dar cuenta de la eficiencia de destrucción del oxidante y de la extensión del periodo en que la reducción está en servicio. Sobre la base de la experiencia sobre la destrucción del HFC-23, se sugiere una eficiencia de destrucción de 100 por ciento, pero el tiempo efectivo de operación del proceso de destrucción ejercerá un efecto mayor sobre las emisiones y debe ser registrado.

**Figura 3.17** **Árbol de decisión para las emisiones de gases fluorados de efecto invernadero provenientes de los procesos de producción, aplicable tanto a las emisiones fugitivas como a las de los productos derivados**



Nota

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).
2. En este punto se puede usar la metodología de Nivel 2 para determinar si ésta es o no una categoría principal, pero, como se explica en la Sección 3.10.2.2, ésta es la única utilización del Nivel 2.
3. Los datos pueden recopilarse bajo la forma de un estudio realizado para el país por terceros, con el fin de preservar la confidencialidad.

## ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

También aquí, los datos de la actividad no inciden en las estimaciones de Nivel 3 ni de Nivel 2, las cuales se basan en mediciones. Para el Nivel 1, la actividad corresponde a la masa anual de la sustancia fluorquímica deseada que se produce.

### Reciclado

El reciclado de los gases usados puede efectuarse por los productores de gas nuevo o por otras compañías de reciclado. Las emisiones pueden ocurrir durante el manejo y la purificación de gas viejo y la manipulación del

gas reciclado. No se dispone de factores de emisión específicos. Por esto, la *buena práctica* consiste en utilizar el mismo factor por defecto que para una producción nueva.

## EXHAUSTIVIDAD

Para algunos compiladores de inventarios, la identificación de los pequeños productores y en particular, de las compañías de reciclado, puede ser una tarea difícil. Sin embargo, las estimaciones iniciales basadas en el balance de masas nacional de masas de estos gases fluorados de efecto invernadero deberían revelar si las emisiones relacionadas con la producción de estas entidades constituyen una contribución considerable al total de las emisiones nacionales.

## DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Tanto las emisiones fugitivas como las de los productos derivados de los compuestos fluorados deben estimarse utilizando el mismo método para toda la serie temporal, así como los factores de emisión apropiados. Si no se dispone de datos de Nivel 3 para cualquiera de los años de una serie temporal, estas lagunas deben completarse según la orientación del Volumen 1, Capítulo 5.

### 3.10.2.3 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

Para el Nivel 1, la incertidumbre en los datos de la actividad debe determinarse para el país declarante y combinarse estadísticamente con la incertidumbre del factor de emisión por defecto. Típicamente, en una planta bien operada, la incertidumbre por defecto asociada a los datos de la actividad debería ser cercana al 1 por ciento, suponiendo que se mantienen registros contables rigurosos y que la producción se monitorea por peso. El factor de emisión real puede situarse en un punto del intervalo bien superior al valor por defecto y descender hasta cero. La incertidumbre por defecto de los factores de emisión por defecto se fija, por lo tanto, en 100 por ciento, por ejemplo,  $0,5 \pm 0,5$  (%).

Para las emisiones del Nivel 3, la incertidumbre de las mediciones deben determinarse individualmente y combinarse (mediante métodos estadísticos estándar) para proporcionar una incertidumbre total para la estimación. La metodología es idéntica a la descrita para el HFC-23 del HCFC-22. En la metodología de Nivel 2, debe evaluarse la incertidumbre tanto de las mediciones de las eficiencias como de la atribución de pérdidas a los componentes individuales. Debido a que éstas son responsables de una incertidumbre mucho mayor que la del Nivel 3, es probable que la utilidad del Nivel 2 sea limitada para evaluar si las emisiones de los productos fluorquímicos derivados constituyen o no una subcategoría significativa bajo la *categoría principal*.

### 3.10.2.4 GARANTÍA DE CALIDAD/CONTROL DE CALIDAD (GC/CC), GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

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

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

#### Comparación de las estimaciones de emisiones con diferentes métodos

Los compiladores del inventario deben comparar las estimaciones basadas en datos agregados al nivel del productor con las estimaciones basadas en datos sobre producción nacional y los factores de emisión por defecto sugeridos. Deben investigar las discrepancias significativas en colaboración con los productores para determinar si existen diferencias inexplicadas.

#### GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Cuando hay un número limitado de productores pueden surgir problemas de confidencialidad. En estos casos puede ser necesario efectuar declaraciones más agregadas sobre el total de las emisiones nacionales. Si las respuestas a las encuestas no pueden revelarse como información pública, para contribuir a los esfuerzos de verificación de los datos puede ser necesaria una revisión de los datos de censo realizada por terceros.

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se indica en el Volumen 1, Sección 6.11. No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir

resúmenes de los métodos utilizados y referencias a las fuentes de datos, de modo que las estimaciones de emisiones declaradas resulten transparentes y que las etapas de su cálculo puedan ser reproducidas.



## Referencias

### SECCIONES 3.2 – 3.8

- Ashford, R.D. (1994). *Ashford's Dictionary of Industrial Chemicals*, Wavelength Publications Ltd, London England.
- Austin, G.T. (1984). *Shreve's Chemical Process Industries*, Fifth Edition, McGraw-Hill, Inc., USA.
- Babusiaux, P. (2005). Note on production of Glioxal and Glioxylic acid, Clariant, Lamotte, France.
- Bockman, O. and Granli, T. (1994). 'Nitrous oxide from agriculture'. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, Supplement No. 12. Norsk Hydro Research Centre, Porsgrunn, Norway.
- Bouwman, A.F., van der Hoek, K.W. and Olivier, J.G.J. (1995). 'Uncertainties in the global source distribution of nitrous oxide'. *Journal of Geophysical Research*, 100:D2, pp. 2785-2800, February 20, 1995.
- Burtscher, K. (1999). Personal communication between Kurt Burtscher of Federal Environment Agency of Austria and plant operator of chemical industry in Linz, Austria, 1999.
- Chemlink (1997). Website <http://www.chemlink.com.au/titanium.htm>. Chemlink Pty Ltd ACN 007 034 022. Publications 1997.
- Choe J.S., Gook, P.J. and Petrocelli, F.P. (1993). Developing N<sub>2</sub>O abatement technology for the nitric acid industry. Paper presented at the 1993 ANPSG Conference, Destin, Florida, USA, 6 October, 1993.
- Cook, P. (1999). Personal communication between Phillip Cook of Air Products and Chemicals, Inc., USA, and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. March 5, 1999.
- Cotton, F.A. and Wilkinson, G. (1988). *Advanced Inorganic Chemistry*, 5th Edition, ISBN 0-471-84997-9. Wiley, New York, USA.
- de Beer, J., Phylipsen, D. and Bates, J. (2001). Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change: Economic Evaluation of Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Emission Reductions in Industry in the EU – Bottom-up Analysis, Contribution to a Study for DG Environment, European Commission by Ecofys Energy and Environment, AEA Technology Environment and National Technical University of Athens.
- Environment Canada (1987). Review of the Canadian Fertiliser Industry and Evaluation of Control Technology, Conservation and Protection Report EPS 2/AG/1.
- EFMA (2000a). European Fertilizer Manufacturers' Association, Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry: Production of Ammonia, Booklet No. 1 of 8, European Fertilizer Manufacturers' Association, Brussels.
- EFMA (2000b). European Fertilizer Manufacturers' Association, Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry: Production of Nitric Acid, Booklet No. 2 of 8, European Fertilizer Manufacturers' Association, Brussels.
- EFMA (2000c). European Fertilizer Manufacturers' Association, Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry: Production of Urea and Urea Ammonium Nitrate, Booklet No. 5 of 8, European Fertilizer Manufacturers' Association, Brussels.
- EIPPCB (2004a). European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Inorganic Chemicals, Ammonia, Acids and Fertilisers Industries, Draft March 2004, European Commission Directorate General JRC, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Spain.
- EIPPCB (2004b). European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Inorganic Chemicals-Solid and Others Industry, Draft August 2004, European Commission Directorate General JRC, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Spain.
- Hocking, M. B. (1998). *Handbook of Chemical Technology and Pollution Control*, Academic Press USA.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- Japan Environment Agency (1995). Study of Emission Factors for N<sub>2</sub>O from Stationary Sources.

- Kirk-Othmer (1999). Concise Encyclopedia of Chemical Technology, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Lowenheim, F.A. and Moran, M.K. (1975). Faith, Keyes, and Clark's Industrial Chemicals, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Olivier, J. (1999). Personal communication between Jos Olivier of National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), The Netherlands and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. February 2, 1999.
- Olsen, S.E. (1991). Kalsiumkarbid og CO<sub>2</sub>, STF34 A91142. SINTEF.
- Perez-Ramirez, J., Kapteijn, F., Shoffel, K. and Moulijn, J. A. (2003). 'Formation and control of N<sub>2</sub>O in nitric acid production: Where do we stand today?', *Applied Catalysis B: Environmental* 44, pp.117-131, Elsevier Science B.V.
- Raanes, O. (1991). Silisiumkarbid og CO<sub>2</sub>, STF34 A91134. SINTEF 1991.
- Reimer, R.A., Slaten, C.S., Seapan, M., Koch, T.A. and Triner, V.G. (1999). 'Implementation of Technologies for Abatement of N<sub>2</sub>O Emissions Associated with Adipic Acid Manufacture. Proceedings of the 2nd Symposium on Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases (NCGG-2), Noordwijkerhout, The Netherlands, 8-10 Sept. 1999, Ed. J. van Ham *et al.*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 347-358.
- Reimer, R., (1999a). Personal communication between Ron Reimer of DuPont, USA and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. February 8, 1999.
- Reimer, R., (1999b). Personal communication between Ron Reimer of DuPont, USA and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. May 19, 1999.
- Reimschuessel, H. K. (1977). 'Nylon 6 Chemistry and Mechanisms', *Journal of Polymer Science: Macromolecular Reviews*, Vol. 12, 65-139, John Wiley & Sons, Inc.
- Scott, A. (1998). 'The winners and losers of N<sub>2</sub>O emission control'. *Chemical Week*, February 18, 1998.
- Thiemens, M.H. and Trogler, W.C. (1991). 'Nylon production; an unknown source of atmospheric nitrous oxide'. *Science*, 251, pp. 932-934.
- U.S. EPA (1985). Criteria Pollutant Emissions Factors. Volume 1, Stationary Point and Area Sources. AP-42 4th Edition (and Supplements A and B). U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, USA.
- van Balken, J.A.M. (2005). Personal communication from J.A.M. van Balken (European Fertilizer Manufacturers Association).

### SECCIÓN 3.9

- AGO (2005). Australian Methodology for the Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks 2003: Industrial Processes, Australian Government, Department of the Environment and Heritage, Australian Greenhouse Gas Office, 2005, Table 4, Page 18.
- BASF (2006). Personal Communication from Silke Schmidt, BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen, Germany to Robert Lanza, ICF Consulting, Inc., Washington, DC, USA, January 9, 2006.
- Boustead, I. (1999). Eco-Profiles of Plastics and Related Intermediates, published by APME, Brussels, 1999.
- Boustead, I. (2003a). Eco-Profiles of the European Plastics Industry: Olefins. A Report for the European Association of Plastics Manufacturers (APME), Brussels, July 2003, Table 7, Page 9. [http://www.apme.org/dashboard/business\\_layer/template.asp?url=http://www.apme.org/media/public\\_documents/20030820\\_114355/olefinsreport\\_july2003.pdf&title=Microsoft+Word+%2D+olefins%2Edoc&k&keuze1=&keuze2=&keuze3=&invulstrook=olefin+AND+eco%2Dprofile](http://www.apme.org/dashboard/business_layer/template.asp?url=http://www.apme.org/media/public_documents/20030820_114355/olefinsreport_july2003.pdf&title=Microsoft+Word+%2D+olefins%2Edoc&k&keuze1=&keuze2=&keuze3=&invulstrook=olefin+AND+eco%2Dprofile)
- Boustead, I. (2003b). Eco-Profiles of the European Plastics Industry, Methodology: A Report for APME, Brussels, July 2003. [http://www.apme.org/media/public\\_documents/20010817\\_141031/method.pdf](http://www.apme.org/media/public_documents/20010817_141031/method.pdf)
- Boustead, I. (2005). ETHYLENE DICHLORIDE: A report by I Boustead for The European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope, March 2005.
- DOE (2000). Energy and Environmental Profile of the U.S. Chemical Industry, U.S. Department of Energy Office of Industrial Technologies, May 2000, Section 3.1.4, Page 92.
- DSM (2002). DSM Responsible Care Progress Report 2001; Safety, Health and Environmental Management at DSM, 2002

- EEA (2005). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook – 2005, European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site see: <http://reports.eea.eu.int/EMEP/CORINAIR4/en>
- European IPPC Bureau (2005). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Inorganic Chemicals (LVIC) – Solid and Others Industry, EK/EIPPCB/LVIC-S\_Draft\_2, Draft, June 2005. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
- European IPPC Bureau (2003). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical (LVOC) Industry, February 2003. <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
- FgH-ISI (1999). Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung. C-Ströme Abschätzung der Material –Energie und CO<sub>2</sub> Ströme für Modellsysteme in Zusammenhang mit dem nichtenergetischen Verbrauch, orientiert am Lebensweg – Stand und Szenarienbetrachtung, Karlsruhe, 1999. Cited in Neelis, M; Patel, M; de Feber, M; 2003. Improvement of CO<sub>2</sub> Emissions Estimates from the Non-energy Use of Fossil Fuels in the Netherlands. Report Number NW&S-E-2003-10, Copernicus Institute, Department of Science, Technology, and Society, Utrecht, The Netherlands, April 2003
- Hinderink, *et al.* (1996). Exergy Analysis with Flowsheeting Simulator – II Application Synthesis Gas Production from Natural Gas, Chemical Engineering Science, Volume 51, No. 20, Page 4701-4715, 1996. Cited in Neelis, M; Patel, M; de Feber, M; 2003. Improvement of CO<sub>2</sub> Emissions Estimates from the Non-energy Use of Fossil Fuels in the Netherlands. Report Number NW&S-E-2003-10, Copernicus Institute, Department of Science, Technology, and Society, Utrecht, The Netherlands, April 2003
- Houdek, J.M., Andersen, J. (2005). “On Purpose“ Propylene – Technology Developments, UOP LLC. Presented at the ARTC 8th Annual Meeting, Kuala Lumpur, April 29, 2005, Figure 1, Page 3 and Page 4.
- Kirk Othmer (1992). Encyclopedia of Chemical Technology, 4th Edition, Volume 4, 1992. Carbon Black. Page 1054.
- Lurgi (2004a). Lurgi Mega Methanol. Lurgi Oel-Gas-Chemie
- Lurgi (2004b). Integrated Low Pressure Methanol Process: Synthesis Gas Production by Combined Reforming of Natural Gas or Oil Associated Gas. Lurgi Oel-Gas-Chemie. [http://www.lurgi-oel.de/lurgi\\_oel/english/nbsp/main/info/methanol\\_combined\\_reforming.pdf](http://www.lurgi-oel.de/lurgi_oel/english/nbsp/main/info/methanol_combined_reforming.pdf)
- Lurgi (2004c). Integrated Low Pressure Methanol Process: Synthesis Gas Production by Conventional Steam Reforming of Natural Gas or Oil Associated Gas. Lurgi Oel-Gas-Chemie. [http://www.lurgi-oel.de/lurgi\\_oel/english/nbsp/main/info/methanol\\_conventional\\_reforming.pdf](http://www.lurgi-oel.de/lurgi_oel/english/nbsp/main/info/methanol_conventional_reforming.pdf)
- Methanex (1996). Methanex Corporation Climate Change Voluntary Challenge and Registry Program Action Plan, September 1996. <http://www.vcr-mvr.ca/registry/out/C969-METHANEX-W52.PDF>
- Methanex (2003). Global Environmental Excellence Report 2002, Methanex Corporation, 2003
- Neelis, M., Patel, M. and de Feber, M. (2003). Improvement of CO<sub>2</sub> Emissions Estimates from the Non-energy Use of Fossil Fuels in the Netherlands, Report Number NW&S-E-2003-10, Copernicus Institute, Department of Science, Technology, and Society, Utrecht, The Netherlands, April 2003.
- Qenos (2003). Annual Report on Manufacturing Operations at Qenos Olefins, Plastics, Resins, and Elastomers Sites to Altona Complex Neighborhood Consultative Group, April 2003, Qenos Pty. Ltd.
- Qenos (2005). 2004 Annual Report on Manufacturing Operations at Qenos Olefins, Plastics, Resins, and Elastomers Sites to Altona Complex Neighborhood Consultative Group, April 2005, Qenos Pty. Ltd.
- SFT (2003a). Self-reporting of emissions to the Norwegian Pollution Control Authority based on direct measurements at Statoil Tjeldbergodden Methanol Plant. (In Norwegian).
- SFT (2003b). Self-reporting of emissions to the Norwegian Pollution Control Authority based on direct measurements at Nordetyl ethylene Plant. (In Norwegian).
- Struker, A. and Blok, K. (1995). Sectorstudie organische chemie, National Energy Efficiency Data Informatie Systeem (NEEDIS), Patten, December 1995. Cited in Neelis, M; Patel, M; de Feber, M; 2003. Improvement of CO<sub>2</sub> Emissions Estimates from the Non-energy Use of Fossil Fuels in the Netherlands, Report Number NW&S-E-2003-10, Copernicus Institute, Department of Science, Technology, and Society, Utrecht, The Netherlands, April 2003

### SECCIÓN 3.10.1

- Defra (2002a). Protocol C1: Measurement of HFCs and PFCs from the Manufacture of HF, CTF, HCFC-22, HFC-125 and HFC-134a, in *Guidelines for the Measurement and Reporting of Emissions by Direct Participants in the UK Emissions Trading Scheme*, UK Department for Environment, Food and Rural Affairs, Report No. UKETS(01)05rev1, Defra, London, 2002.
- Defra (2002b). Protocol C9: Measurement of HFCs and PFCs from Chemical Process Operations, UK Department for Environment, Food and Rural Affairs, *as above*, London, 2002.
- EFCTC (2003). *Protocol for the Measurement of HFC and PFC Greenhouse Gas Emissions from Chemical Process Operations*, Standard Methodology, European Fluorocarbon Technical Committee, Cefic, Brussels, 2003.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- McCulloch A. (1992). Global Production and Emissions of Bromochlorodifluoromethane and Bromotrifluoromethane (Halons 1211 and 1301), *Atmos. Environ.*, 26A(7), 1325-1329.
- Oram D.E., Sturges, W.T., Penkett, S.A., McCulloch, A. and Fraser, P.J. (1998). Growth of fluoroform (CHF<sub>3</sub>, HFC-23) in the background atmosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 25(1), 35-38.
- RTI, Cadmus, (1998). 'Performance Standards for Determining Emissions of HFC-23 from the Production of HCFC-22', draft final report prepared for USEPA, February 1998.
- UN (2004). Approved baseline methodology, 'Incineration of HFC 23 waste streams', AM0001/Version 02, CDM – Executive Board, United Nations Framework Convention on Climate Change, 7 April 2004
- U.S. EPA (2001). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-1999. United States Environmental Protection Agency, Report No. EPA 236-R-01-001, Washington, U.S.A., 2001.

### SECCIÓN 3.10.2

- AFEAS (2004). *Production, Sales and Estimated Atmospheric Emissions of CFCs, HCFCs and HFCs*, Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study, Arlington, U.S.A., 2004. Available at [www.afeas.org](http://www.afeas.org).
- Preisegger, E. (1999). Statement on experiences of Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover, Germany regarding an emission factor at the IPCC expert group meeting on *Good practice* in Inventory Preparation, Washington D.C. Jan, 1999.
- Suizu, T. (1999). Partnership activities for SF<sub>6</sub> gas emission reduction from gas insulated electrical equipment in Japan. *Proc. Joint IPCC/TEAP Expert Meeting on Options for the Limitation of Emissions of HFCs and PFCs*, Petten, Netherlands, 26-28 May 1999. ECN, Petten.
- UNFCCC (2005). Belgium's Greenhouse Gas Inventory (1990-2003), National Inventory Report 2005, submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change, April 2005. [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/2761.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/2761.php).