

5

DESECHOS

COPRESIDENTES, EDITORES Y EXPERTOS

Copresidentes del Grupo de expertos sobre emisiones procedentes de los desechos

Taka Hiraiishi (Japón) y Buruhani Nyenzi (Tanzania)

EDITOR REVISOR

José Domingos Miguez (Brasil)

Grupo de expertos: emisiones de CH₄ procedentes de la disposición de desechos sólidos

COPRESIDENTES

A.D. Bhide (India) y Riitta Pipatti (Finlandia)

AUTORES DE DOCUMENTOS DE INFORMACIÓN

Jens E. Frøiland Jensen (Noruega) y Riitta Pipatti (Finlandia)

COLABORADORES

Joao W. de Silva Alves (Brasil), Pascal Boeckx (Bélgica), Keith Brown (Reino Unido), Robert Hoppaus (IPCC/OCDE), Charles Jubb (Australia), Thomas Kerr (Estados Unidos), Tore Kleffhelgaard (Noruega), Oswaldo Lucon (Brasil), Gerd Mauschwitz (Austria), Carmen Midaglia (Brasil), Martin Milton (Reino Unido), Michael Mondshine (Estados Unidos), Hans Oonk (Países Bajos), Bostjan Paradiz (Eslovenia), Katarzyna Steczko (Polonia), Egle Novaes Teixeira (Brasil), Sirintornthep Towprayoon (Tailandia) e Irina Yesserkepova (Kazajstán)

Grupo de expertos: emisiones de CH₄ y N₂O procedentes del tratamiento de las aguas residuales

COPRESIDENTES

Michiel Doorn (Países Bajos) y Faouzi Senhaji (Marruecos)

AUTOR DEL DOCUMENTO DE ANTECEDENTES

John Hobson (Reino Unido)

COLABORADORES

Juliana Adamkova (Eslovaquia), William Irving (Estados Unidos), Scarlett Lara (Chile), Kenneth Olsen (Canadá), Karin Reuck (Chile), Ingvar Svensson (Suecia) y Sonia Manso Viera (Brasil)

Grupo de expertos: emisiones procedentes de la incineración de desechos

COPRESIDENTES

Martin Bigg (Reino Unido) y Newton Paciornik (Brasil)

AUTOR DEL DOCUMENTO DE ANTECEDENTES

Bernt Johnke (Alemania)

COLABORADORES

José Baldasano (España), Anke Herold (Alemania), Andrej Kranjc (Eslovenia), Jozef Kutas (Hungría), Katarina Mareckova (IPCC/OCDE) y Kiyoto Tanabe (Japón)

Índice

5 DESECHOS

5.1	EMISIONES DE CH ₄ PROCEDENTES DE LOS VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS	5.5
5.1.1	Aspectos metodológicos.....	5.5
5.1.2	Presentación de informes y documentación	5.123
5.1.3	Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC)	5.13
5.2	EMISIONES PROCEDENTES DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	5.15
5.2.1	Aspectos metodológicos.....	5.15
5.2.2	Presentación de informes y documentación	5.25
5.2.3	Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC)	5.25
5.3	EMISIONES PROCEDENTES DE LA INCINERACIÓN DE DESECHOS	5.27
5.3.1	Aspectos metodológicos.....	5.27
5.3.2	Presentación de informes y documentación	5.33
5.3.3	Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC)	5.34
	REFERENCIAS	5.35

Figuras

Figura 5.1	Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH ₄ procedentes de los vertederos de residuos sólidos	5.6
Figura 5.2	Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH ₄ procedentes del tratamiento de las aguas residuales domésticas	5.16
Figura 5.3	Flujos de aguas residuales, sistemas de tratamiento y emisiones potenciales de CH ₄	5.19
Figura 5.4	Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH ₄ procedentes del tratamiento de los efluentes industriales.....	5.22
Figura 5.5	Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CO ₂ procedentes de la incineración de desechos.....	5.28
Figura 5.6	Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de N ₂ O procedentes de la incineración de desechos.....	5.29

Cuadros

Cuadro 5.1	Clasificación de los VRS y factores de corrección para el metano	5.9
Cuadro 5.2	Estimaciones de las incertidumbres asociadas a los parámetros por defecto aplicados en el método por defecto del IPCC y el método DPO para la determinación de las emisiones de CH ₄ procedentes de los VRS	5.12
Cuadro 5.3	Rangos de incertidumbre por defecto de las aguas residuales domésticas	5.21
Cuadro 5.4	Datos sobre los efluentes industriales	5.24
Cuadro 5.5	Rangos de incertidumbre por defecto correspondientes a los efluentes industriales.....	5.25
Cuadro 5.6	Datos por defecto para la estimación de las emisiones de CO ₂ procedentes de la incineración de desechos.....	5.31
Cuadro 5.7	Factores de emisión del N ₂ O procedente de la incineración de desechos	5.32

5 DESECHOS

5.1 EMISIONES DE CH₄ PROCEDENTES DE LOS VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS

5.1.1 Aspectos metodológicos

Durante la descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos depositados en vertederos de residuos sólidos (VRS) se producen emisiones de metano (CH₄). Los desechos orgánicos se descomponen a un ritmo decreciente y tardan muchos años en descomponerse totalmente.

5.1.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Las *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996 (Directrices del IPCC)*, describen dos métodos para estimar las emisiones de CH₄ procedentes de los vertederos de residuos sólidos: el método por defecto (nivel 1) y el método de descomposición de primer orden (DPO) (nivel 2). La principal diferencia entre ambos métodos es que el método DPO da lugar a un perfil de emisión que depende del tiempo transcurrido y que refleja mejor las verdaderas pautas del proceso de degradación a lo largo del tiempo, mientras que el método por defecto se basa en la suposición de que la totalidad del CH₄ potencial se libera durante el año en el que se produce la disposición de los desechos. El método por defecto permitirá obtener una estimación anual razonable de las emisiones reales siempre que la cantidad y la composición de los desechos eliminados se hayan mantenido constantes o hayan variado lentamente en el transcurso de varias décadas. Sin embargo, si la cantidad o la composición de los desechos depositados en los VRS cambian con mayor rapidez a través del tiempo, el método por defecto del IPCC no indicará una tendencia exacta. Por ejemplo, si disminuye la cantidad de carbono depositada en los VRS, el método por defecto subestimarán las emisiones y sobreestimarán las reducciones.

La elección de un método de *buena práctica* dependerá de las circunstancias nacionales. El árbol de decisiones de la figura 5.1, “Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ procedentes de los vertederos de residuos sólidos”, ilustra el proceso de elección entre ambos métodos. Es una *buena práctica* utilizar, siempre que sea posible, el método DPO, ya que refleja la tendencia de las emisiones con mayor exactitud. Para poder aplicar el método DPO es necesario contar con datos, tanto actuales como históricos, sobre las cantidades, la composición y las prácticas de disposición de los desechos a lo largo de varias décadas. La estimación de estos datos históricos, si no se dispone de ellos, constituye una buena práctica cuando se trata de una *categoría principal de fuentes* (véase el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”), o cuando se han registrado cambios de importancia en las prácticas de gestión de los desechos.

Las *Directrices del IPCC* no proporcionan valores o métodos por defecto para la estimación de algunos parámetros fundamentales que se requieren para la aplicación del método DPO. Estos datos dependen en gran medida de las condiciones específicas de cada país, y actualmente no se dispone de información suficiente que permita sugerir valores o métodos por defecto fiables. Se exhorta a los organismos encargados de los inventarios a obtener datos de las investigaciones nacionales o regionales, ya que si dichos organismos se ven impedidos de utilizar el método DPO cuando así lo indique la *buena práctica*, habrá menos posibilidades de hacer comparaciones entre los distintos inventarios nacionales. Los organismos a cargo de los inventarios que elijan un método distinto de los previstos en las *Directrices del IPCC* deberán justificar su elección demostrando que el método que han elegido permite estimar las emisiones con una exactitud y una exhaustividad mayores o similares.

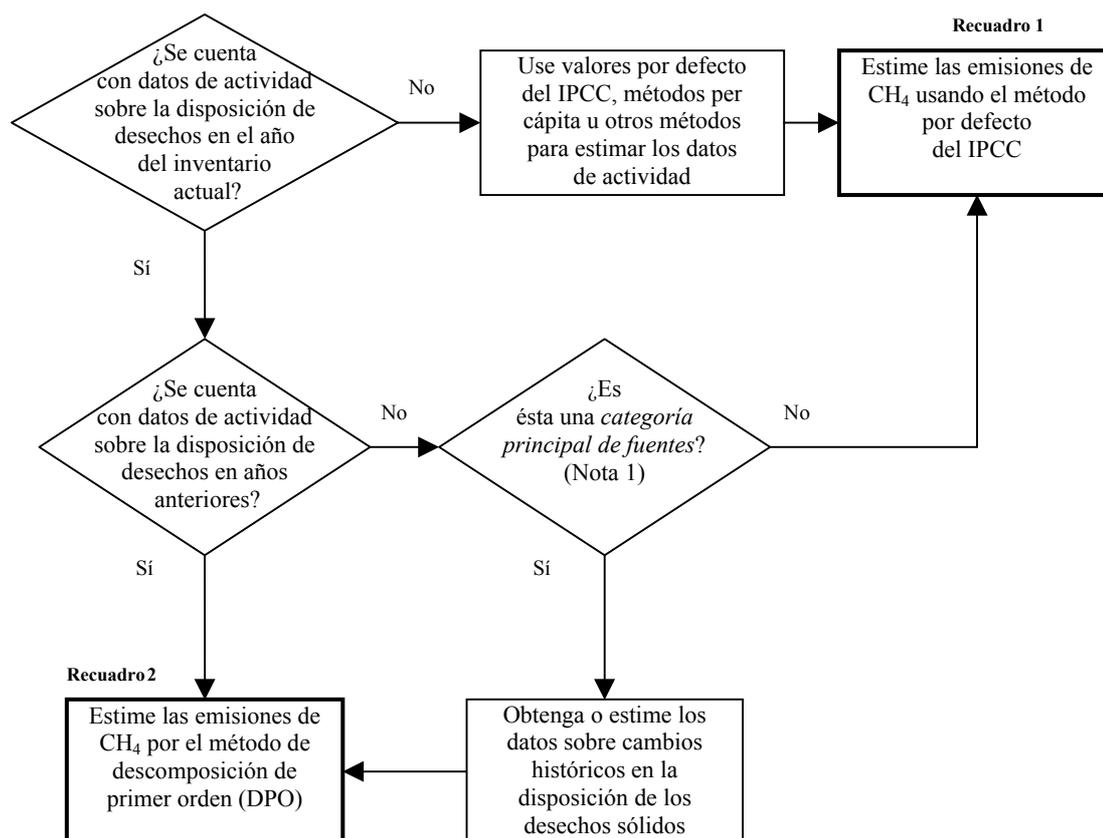
5.1.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN Y DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

En esta sección se analizan en forma combinada las *buenas prácticas* relativas a la elección de los datos de actividad y a la elección de los factores de emisión, debido al singular carácter de los métodos de estimación de las emisiones.

Método de descomposición de primer orden (DPO) – nivel 2

Las *Directrices del IPCC* (págs. 6.10 a 6.11 del Manual de Referencia) presentan el método DPO en tres ecuaciones. La primera ecuación debe utilizarse para un vertedero individual, o posiblemente para un grupo de vertederos específicos. La segunda ecuación, que resulta adecuada para hacer estimaciones nacionales y regionales, calcula las emisiones procedentes de todos los desechos sólidos depositados en los VRS durante un año. La finalidad de la tercera ecuación es estimar las emisiones anuales procedentes de la disposición de los desechos durante el año en curso y años anteriores.

Figura 5.1 Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ procedentes de los vertederos de residuos sólidos



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

El método DPO puede expresarse de manera equivalente mediante las ecuaciones 5.1 y 5.2 que figuran más abajo. La ecuación 5.1 se basa en la derivada de la ecuación general del método DPO (véase la pág. 6.10 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*), en la que t se sustituye por $t - x$, que representa un factor de normalización que permite dar cuenta del hecho de que la evaluación respecto de un solo año constituye una estimación de tiempo discreto en lugar de una estimación de tiempo continuo.

ECUACIÓN 5.1

$$\text{CH}_4 \text{ generado en el año } t \text{ (Gg/año)} = \sum_x [(A \cdot k \cdot \text{RSU}_T(x) \cdot \text{RSU}_F(x) \cdot L_0(x)) \cdot e^{-k(t-x)}]$$

para $x =$ desde el año inicial hasta t

donde:

t = año del inventario

x = años respecto de los cuales se deben incorporar datos

$A = (1 - e^{-k}) / k$; factor de normalización que corrige la sumatoria

k = valor constante de la tasa de generación de metano (1/año)

$RSU_T(x)$ = total de residuos sólidos urbanos (RSU) generados en el año x (Gg/año)

$RSU_F(x)$ = fracción de los RSU eliminados en los VRS durante el año x

$L_0(x)$ = potencial de generación de metano [$FCM(x) \cdot COD(x) \cdot COD_F \cdot F \cdot 16 / 12$ (Gg de CH_4 /Gg de desechos)]

$FCM(x)$ = factor de corrección para el metano en el año x (fracción)

$COD(x)$ = carbono orgánico degradable (COD) en el año x (fracción) (Gg de C/Gg de desechos)

COD_F = fracción de COD no asimilada

F = fracción por volumen de CH_4 en el gas de vertedero

16 / 12 = Conversión de C a CH_4

Sume los resultados obtenidos para todos los años (x).

ECUACIÓN 5.2

$$CH_4 \text{ emitido durante el año } t \text{ (Gg/año)} = [CH_4 \text{ generado durante el año } t - R(t)] \cdot (1 - OX)$$

donde:

$R(t)$ = CH_4 recuperado durante el año t del inventario (Gg/año)

OX = factor de oxidación (fracción)

Cabe destacar que el CH_4 recuperado ($R(t)$) debe descontarse de la cantidad generada antes de aplicar el factor de oxidación, porque solamente el gas de vertedero no capturado puede oxidarse en la capa superior del vertedero. Además, la unidad correspondiente al potencial de generación de metano debe expresarse en términos de peso (Gg de CH_4 /Gg de desechos) y no de volumen (m^3 /Mg de desechos), como se establece actualmente en las *Directrices del IPCC*, para que los resultados del método por defecto y del método DPO sean congruentes entre sí.

El valor constante k de la tasa de generación de metano que aparece en el método DPO está relacionado con el tiempo que tarda en descomponerse el COD presente en los desechos hasta quedar reducido a la mitad de su masa inicial ("media vida" o $t_{1/2}$), como se indica a continuación:

$$k = \ln 2 / t_{1/2}$$

Para aplicar el método DPO es preciso contar con datos históricos sobre la generación de desechos y las prácticas de gestión de éstos. En los inventarios nacionales, habitualmente es necesario incluir datos correspondientes a 3 a 5 medias vidas para alcanzar un resultado aceptablemente exacto. Los cambios en las prácticas de gestión de los desechos (p.ej., el material de cobertura de los vertederos, un mejor drenaje de los líquidos lixiviados, el compactado y la prohibición de eliminar los desechos peligrosos junto con los RSU) también deben tomarse en cuenta al compilar los datos históricos.

El valor de k aplicable a un VRS en particular está determinado por un gran número de factores asociados a la composición de los desechos y las condiciones del vertedero. Las mediciones de VRS realizadas en los Estados Unidos, el Reino Unido y los Países Bajos indican valores de k de entre 0,03 y 0,2 por año (Oonk y Boom, 1995). Las tasas más rápidas ($k = 0,2$, o una media vida de aproximadamente 3 años) están vinculadas a condiciones de elevada humedad y materiales rápidamente degradables, como los restos de alimentos. Las tasas de descomposición más lentas ($k = 0,03$, o una media vida de aproximadamente 23 años) se asocian a vertederos de residuos secos y a desechos de degradación lenta, como la madera o el papel. Se exhorta a los organismos encargados de los inventarios a establecer valores de k o a utilizar sus propios valores de k, si se dispone de ellos y están documentados. Para estimar los valores de k, los organismos encargados de los inventarios deberán determinar la composición de los desechos depositados en los VRS en el transcurso del tiempo y estudiar las condiciones que prevalezcan en el (o los) vertedero(s). Si no se dispone de datos sobre los tipos de desechos, se sugiere un valor de k de 0,05 (una media vida de aproximadamente 14 años) como valor por defecto.

Los organismos a cargo de los inventarios pueden estimar los datos históricos sobre disposición y composición de desechos suponiendo que son proporcionales a la población, o a la población urbana en los casos en que no haya habido una recolección o disposición organizada de los desechos en las zonas rurales. Los organismos encargados de los inventarios pueden utilizar otro tipo de relaciones si ello se justifica, comunicando los motivos de su elección.

Método por defecto – nivel 1

El método por defecto se basa en la ecuación siguiente:

<p>ECUACIÓN 5.3</p> $\text{Emisiones de CH}_4 \text{ (Gg/año)} = [(\text{RSU}_T \cdot \text{RSU}_F \cdot L_0) - R] \cdot (1 - \text{OX})$
--

donde:

RSU_T = cantidad total de RSU generados (Gg/año)

RSU_F = fracción de RSU eliminados en los VRS

L_0 = potencial de generación de metano [$\text{FCM} \cdot \text{COD} \cdot \text{COD}_F \cdot F \cdot 16 / 12$ (Gg de CH_4 /Gg de desechos)]

FCM = factor de corrección para el metano (fracción)

COD = carbono orgánico degradable [fracción (Gg C/Gg de RSU)]

COD_F = fracción de COD no asimilada

F = fracción por volumen de CH_4 en el gas de vertedero

R = CH_4 recuperado (Gg/año)

OX = factor de oxidación (fracción)

Cabe señalar que todos los parámetros del modelo pueden cambiar con el transcurso del tiempo, dependiendo de las tendencias en la disposición de los desechos y las prácticas de gestión de éstos. A continuación se describe un procedimiento de *buena práctica* para cada uno de los parámetros del modelo citados anteriormente.

Total de residuos sólidos urbanos (RSU_T) y fracción de los RSU enviada a los VRS (RSU_F)

El uso del término “residuos sólidos urbanos (RSU)” tal vez no describe exactamente los tipos de desechos que se vierten en los VRS. Los organismos encargados de los inventarios deberán estimar las emisiones procedentes de todos los tipos de desechos sólidos, incluidos los desechos industriales, lodos, desechos de la construcción y demolición y residuos urbanos, cuya disposición tiene lugar en los VRS. En muchos países puede resultar difícil obtener datos sobre los desechos industriales, pero es preciso realizar esfuerzos en tal sentido. (Son ejemplos de desechos industriales que pueden producir CH_4 durante su disposición, entre otros, los desechos de la industria agroalimentaria¹, los desechos y lodos de pulpa y papel y los desechos procedentes de la elaboración de la madera). En muchos países puede haber estimaciones nacionales del total de desechos eliminados. Es preferible usar datos nacionales, en la medida en que los organismos encargados de los inventarios documenten el método utilizado para reunir dichos datos, con indicación del número de vertederos examinados y el tipo de examen realizado. Si no se dispone de datos nacionales, los organismos encargados de los inventarios pueden estimar los datos sobre la base de las presunciones por defecto que se describen en el cuadro 6-1 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*. En ese cuadro se indican valores por defecto de la generación y disposición de RSU para muchas regiones y países. Si no existen valores por defecto, los organismos encargados de los inventarios pueden recurrir al dictamen de expertos para estimar estos parámetros mediante el uso de valores correspondientes a otros países con condiciones similares. (Entre los elementos de comparación que pueden utilizar los organismos encargados de los inventarios se incluyen las características geográficas, la densidad de población, el ingreso nacional y el tipo de industria y su volumen).

FACTOR DE CORRECCIÓN PARA EL METANO (FCM)²

¹ Evite contabilizar por partida doble con el sector Agricultura.

² Los VRS no controlados pueden causar graves problemas ambientales y sanitarios a nivel local, como incendios y explosiones accidentales, la contaminación del aire y las aguas circundantes, y el brote de plagas e infecciones. Sin embargo, la intención de las *Directrices del IPCC* y del presente informe, titulado *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y*

El factor de corrección para el metano (FCM) da cuenta del hecho de que los VRS no controlados producen menos CH₄ a partir de una determinada cantidad de desechos, que los VRS controlados, debido a que la fracción de desechos que se descompone aeróbicamente en las capas superiores de los VRS no controlados es mayor. El FCM asociado a la gestión de los residuos sólidos es específico de ese sector en particular, y debe ser interpretado como el “factor de corrección de la gestión de los desechos” que refleja los aspectos de gestión que abarca. En este contexto, el término “factor de corrección para el metano (FCM)” no debe confundirse con el factor de conversión del metano (FCM) a que se hace referencia en las *Directrices del IPCC* en relación con las emisiones procedentes de los efluentes y del manejo del estiércol del ganado.

En el cuadro 5.1 *infra* se detallan los valores por defecto del FCM que figuran en las *Directrices del IPCC*.

CUADRO 5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS VRS Y FACTORES DE CORRECCIÓN PARA EL METANO	
Tipo de vertedero	Valores por defecto del factor de corrección para el metano (FCM)
Controlados ^a	1,0
No controlados – profundos (≥5 m de desechos)	0,8
No controlados – poco profundos (<5 m de desechos)	0,4
VRS no incluidos en ninguna categoría ^b	0,6
^a En los VRS controlados debe haber un sistema de disposición controlada de los desechos (es decir, zonas específicas para depositar los desechos, cierto grado de control de la recolección de basuras y algunas medidas de control de los incendios) y debe utilizarse alguno de los siguientes elementos: material de cobertura, compactado mecánico o nivelación de los desechos. ^b El valor por defecto de 0,6 para los VRS no incluidos en ninguna categoría puede resultar inapropiado para los países en desarrollo que tengan un alto porcentaje de vertederos no controlados de poca profundidad, ya que probablemente ello conducirá a sobreestimar las emisiones. Por lo tanto, se exhorta a los organismos encargados de los inventarios en los países en desarrollo a que utilicen como FCM el valor de 0,4, a menos que cuenten con datos documentados que indiquen la existencia en sus respectivos países de prácticas de control de los vertederos. Fuente: Manual de Referencia de las <i>Directrices del IPCC</i> .	

Carbono orgánico degradable (COD)

El carbono orgánico degradable es el carbono orgánico que puede ser objeto de descomposición bioquímica, y debe expresarse como Gg de C por Gg de desechos. Se basa en la composición de los desechos y puede calcularse sobre la base del promedio ponderado del contenido de carbono de los distintos componentes de los desechos. En la ecuación siguiente, presentada en las *Directrices del IPCC*, el COD se estima mediante el uso de valores por defecto del contenido de carbono:

<p>ECUACIÓN 5.4</p> $\text{COD} = (0,4 \cdot A) + (0,17 \cdot B) + (0,15 \cdot C) + (0,3 \cdot D)$

donde:

A = la fracción de RSU compuesta de papel y textiles

B = la fracción de RSU formada por desechos de jardín, desechos de parques u otros elementos orgánicos putrescibles, excluidos los alimentos

C = la fracción de RSU compuesta de restos de alimentos

D = la fracción de RSU compuesta de madera o paja

Los valores por defecto del contenido de carbono en estas fracciones pueden verse en las *Directrices del IPCC* (cuadro 6-3 del Manual de Referencia)³. Se exhorta a utilizar valores nacionales si se dispone de esos datos. Se pueden obtener valores nacionales realizando estudios sobre la generación de desechos y muestreos de distintos VRS en el país. Si se aplican valores nacionales, se deben indicar en el informe los datos obtenidos en los

la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (*Informe sobre buenas prácticas*), es abordar únicamente los aspectos vinculados a los gases de efecto invernadero.

³ Datos extraídos de Bingemer y Crutzen (1987).

estudios y los resultados de los muestreos. Además, como se expresa a continuación, es importante que los organismos encargados de los inventarios excluyan la lignina de sus cálculos del COD cuando utilicen el valor por defecto de la COD_F (0,77).

Fracción de carbono orgánico degradable no asimilado (COD_F)

El valor COD_F es una estimación de la fracción de carbono que en definitiva se degrada y libera de los VRS, y refleja el hecho de que parte del carbono orgánico que se deposita en los VRS no se degrada, o lo hace muy lentamente. Las *Directrices del IPCC* proponen un valor por defecto de 0,77 para COD_F . Un examen de la bibliografía más reciente al respecto permite concluir que, al parecer, este valor por defecto puede estar sobreestimado. Sólo deberá usarse si el C de la lignina se excluye del valor COD. Por ejemplo, en los Países Bajos se han utilizado valores experimentales del orden de 0,5 a 0,6 (con el C de la lignina incluido) (Oonk y Boom, 1995) que, según se ha demostrado, permiten obtener estimaciones fiables de la generación y la recuperación del gas de vertedero en ese país. También es una *buen práctica* usar un valor por defecto de 0,5 a 0,6 (incluido el C de la lignina). Para COD_F pueden usarse los valores nacionales o los valores de países con características similares, pero sobre la base de investigaciones debidamente documentadas.

Fracción de CH_4 en el gas de vertedero (F)

El gas de vertedero está compuesto principalmente de CH_4 y dióxido de carbono (CO_2). Generalmente se considera que la fracción F del CH_4 tiene un valor de 0,5, pero puede variar entre 0,4 y 0,6, dependiendo de varios factores, entre ellos la composición de los desechos (p.ej., carbohidratos y celulosa). La concentración de CH_4 en el gas de vertedero recuperado puede ser inferior al valor real, debido a la dilución potencial causada por el aire, por lo que los valores de F estimados por este método no necesariamente serán representativos.

Recuperación de metano (R)

La recuperación de metano es la cantidad de CH_4 generado en los VRS que se recupera y se quema en una antorcha o en algún dispositivo de recuperación de energía. El CH_4 que se recupera y posteriormente se ventea no debe descontarse de las emisiones brutas. El valor por defecto de la recuperación de metano es cero. Este valor por defecto sólo podrá modificarse cuando se disponga de referencias que documenten el volumen de recuperación de metano. Los volúmenes de gas recuperado deben consignarse en los informes como CH_4 , no como gas de vertedero, ya que este último solamente contiene una fracción de CH_4 ⁴. La presentación de datos basados en la medición de todo el gas que se recupera para ser utilizado como energía o ser quemado en antorcha es coherente con las *buenas prácticas*. No es apropiado utilizar estimaciones no documentadas del potencial de recuperación de gases de vertedero, ya que dichas estimaciones tienden a sobreestimar el volumen recuperado.

Factor de oxidación (OX)

El factor de oxidación (OX) refleja la cantidad de CH_4 procedente de los VRS que se oxida en el suelo o en otros materiales que cubren los desechos. Un factor de oxidación de cero significa que no hay oxidación, y si OX es igual a 1, ello significa que el 100% del CH_4 se oxida. Los estudios realizados demuestran que los vertederos sanitarios tienden a arrojar resultados de oxidación más altos que los vertederos de basura no controlados. Por ejemplo, el factor de oxidación en vertederos cubiertos con material grueso y bien aireado puede ser muy diferente al de los vertederos no cubiertos o en los que se pueden producir escapes de grandes cantidades de CH_4 a través de grietas en el material de cobertura.

El factor de oxidación por defecto establecido en las *Directrices del IPCC* es cero. Las pruebas de campo y de laboratorio dan una amplia gama de resultados, pero es probable que los valores superiores a 0,1 sean demasiado altos para los inventarios nacionales. Las mediciones de campo y de laboratorio de las concentraciones y los flujos de las emisiones de CH_4 y CO_2 no deben utilizarse en forma directa. En general, estos experimentos de campo y de laboratorio determinan la oxidación del CH_4 en capas de suelo uniformes y homogéneas. En realidad, solamente una fracción del CH_4 generado se diseminará a través de una capa tan homogénea. Otra fracción escapará a través de grietas o por difusión lateral, sin oxidarse. Por lo tanto, los resultados de los estudios de campo y de laboratorio pueden conducir a la sobreestimación de la oxidación en el suelo de los vertederos cubiertos.

Actualmente, los países más industrializados que controlan debidamente sus VRS utilizan el valor de OX de 0,1, que constituye una presunción razonable en atención a la información disponible. En los países en desarrollo, que tienen prácticas de control menos avanzadas, el valor medio probablemente se encuentre más cercano al cero. El uso del valor de oxidación de 0,1 se justifica en el caso de los vertederos bien controlados, pero en otros casos el uso de un valor de oxidación distinto de cero debe estar claramente documentado y respaldado con referencias.

⁴ Las emisiones de CO_2 procedentes de la combustión del gas recuperado de los vertederos son de origen biogénico y no deben incluirse en las cifras totales nacionales.

Es importante recordar que cualquier cantidad de CH₄ que se recupere deberá descontarse del volumen generado antes de aplicar un factor de oxidación.

5.1.1.3 EXHAUSTIVIDAD

Los organismos encargados de los inventarios deberán hacer todo lo posible para incluir las emisiones procedentes de los VRS que no contengan RSU. Entre ellos se incluyen los vertederos de desechos industriales y lodos, así como los vertederos de restos de materiales de construcción y demolición. Al igual que en el caso de los RSU, deberá evaluarse el COD para determinar la importancia potencial de esta subcategoría de fuentes. Puede ser difícil obtener datos sobre generación o disposición de desechos industriales, ya que quizás sean confidenciales o no se comunique información al respecto. Generalmente, los VRS que no contienen RSU contribuyen en menor grado a las emisiones nacionales de CH₄ que los que contienen RSU.

Los VRS cerrados no deberían ser un obstáculo para lograr la exhaustividad, ya que tanto el método DPO como el método por defecto usan datos anuales sobre la disposición de desechos. Por lo tanto, también se deberán contabilizar los desechos existentes en los vertederos cerrados

5.1.1.4 DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Habida cuenta de las diferencias que existen entre el método DPO y el método por defecto en cuanto a su enfoque y los resultados previstos, la serie temporal deberá determinarse utilizando el mismo método (es decir, sin mezclar ambos métodos). Por lo tanto, si un organismo encargado del inventario decide reemplazar el método por defecto por el método DPO, deberá calcular nuevamente el año base y la totalidad de la serie temporal de acuerdo con el nuevo método. En ese caso, los organismos a cargo de los inventarios tendrán que derivar una serie temporal de datos históricos sobre la disposición de desechos que justifique la aplicación del método DPO. Es necesario describir claramente el método utilizado para derivar la nueva serie e indicar el número de años que resultaron afectados. A fin de garantizar la coherencia a través del tiempo, es una *buena práctica* calcular nuevamente las estimaciones de las emisiones utilizando métodos anteriores y actuales, para comprobar que las tendencias de las emisiones sean reales y no causadas por los cambios introducidos en las metodologías de estimación. Estos nuevos cálculos deberán realizarse de acuerdo con las pautas que se describen en la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Dada la importancia que reviste esta categoría de fuentes en muchos inventarios nacionales, así como las limitaciones que tiene el método por defecto, los organismos encargados de los inventarios deberán compilar y mantener tantos datos históricos como sea posible para permitir la realización de nuevos cálculos en el futuro con métodos más exactos. Los organismos encargados de los inventarios también deberán tener presente que varios de los parámetros relacionados con la composición de los desechos y el diseño de los vertederos dependen del tiempo.

5.1.1.5 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

En el cuadro 5.2. figuran las estimaciones de la incertidumbre en los valores RSU_T y RSU_F, así como los parámetros del modelo por defecto. Estas estimaciones se basan en el dictamen de expertos. Si un organismo encargado del inventario utiliza los valores nacionales correspondientes a estos factores, deberá evaluar la incertidumbre de dichos valores, de conformidad con la orientación proporcionada en el capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”.

Existe alguna información sobre la incertidumbre en cuanto al potencial de generación de metano (L_0), que equivale a $FCM \cdot COD \cdot COD_F \cdot F \cdot 16 / 12$, y aparece como un factor en las ecuaciones de los métodos por defecto y DPO. En los Países Bajos, donde existen datos de muy buena calidad, se estima que la incertidumbre correspondiente a la generación de CH₄ por tonelada métrica de desechos es de aproximadamente $\pm 15\%$ (Oonk y Boom, 1995). En países que cuentan con datos de similar calidad, se supone que las incertidumbres en las cantidades de CH₄ generado por tonelada métrica de desechos son del mismo orden. En los países donde los datos sobre la generación de CH₄ por tonelada métrica de desechos son de baja calidad, las incertidumbres en tal sentido podrían ser del orden de $\pm 50\%$. Los fundamentos de esta evaluación de la incertidumbre deben documentarse adecuadamente.

Los datos consignados en el cuadro 5.2, “Estimaciones de las incertidumbres asociadas a los parámetros por defecto aplicados en el método por defecto del IPCC y en el método DPO para la determinación de las emisiones de CH₄ procedentes de los VRS”, demuestran que la incertidumbre general asociada a la estimación de las emisiones de CH₄ procedentes de los VRS es probablemente alta, quizás de un factor de 2, aun cuando los datos nacionales estén correctamente caracterizados. Siempre que sea posible deberán utilizarse datos nacionales. En el

capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”, se brinda orientación sobre dicha cuantificación y, en particular, sobre la forma de obtener y utilizar dictámenes de expertos, los cuales, combinados con datos empíricos, pueden permitir hacer estimaciones generales de la incertidumbre.

CUADRO 5.2 ESTIMACIÓN DE LAS INCERTIDUMBRES ASOCIADAS A LOS PARÁMETROS POR DEFECTO APLICADOS EN EL MÉTODO POR DEFECTO DEL IPCC Y EN EL MÉTODO DPO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES DE CH₄ PROCEDENTES DE LOS VRS^a	
Parámetro	Rango de incertidumbre^b
Total de residuos sólidos urbanos (RSU _T) y fracción de los RSU enviados a los VRS (RSU _F)	Específico del país: >±10% (<-10%, >+10%. El valor absoluto del rango de incertidumbre es mayor de 10% en los países con datos de muy buena calidad (o sea, que miden el peso en todos los VRS) En los países con datos de mala calidad: más de un factor de 2.
Carbono orgánico degradable (COD) = 0,21 (máximo valor por defecto previsto en las <i>Directrices del IPCC</i>)	-50%, +20%
Fracción de carbono orgánico degradable no asimilado (COD _F) = 0,77	-30%, +0%
Factor de corrección para el metano (FCM) = 1 = 0,4 = 0,6	-10%, +0% -30%, +30% -50%, +60%
Fracción de CH ₄ presente en el gas de vertedero (F) = 0,5	-0%, +20%
Recuperación de metano (R)	El rango de incertidumbre dependerá de la forma en que se estiman las cantidades de CH ₄ recuperado y quemado en antorcha o utilizado, pero es probable que esa incertidumbre sea relativamente pequeña en comparación con otras cuando se aplican sistemas de medición.
Factor de oxidación (OX)	El factor OX deberá incluirse en el análisis de incertidumbre cuando se le haya asignado un valor diferente a cero. En ese caso, al justificar el uso de un valor diferente a cero se deberá tener en cuenta las incertidumbres, como se indica en la sección 5.1.1.2, “Elección de los factores de emisión y de los datos de actividad”.
Valor constante de la tasa de generación de metano (k) = 0,05	-40%, +300%
^a Las estimaciones solamente son válidas para los valores por defecto descritos en las <i>Directrices del IPCC</i> o en el cuadro, y se basan en el dictamen de especialistas en la materia. ^b Cuando la evaluación de datos adicionales sobre los parámetros brinde información para la modificación de los valores por defecto, también deberá modificarse el rango de la incertidumbre. Cuando se apliquen valores específicos del país, éstos deberán ir acompañados de los valores de incertidumbre que correspondan. Fuente: Dictamen del Grupo de expertos (véase “Copresidentes, Editores y Expertos; Emisiones de CH ₄ procedentes de la disposición de los desechos sólidos”).	

5.1.2 Presentación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para preparar las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se describe en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. A continuación se dan algunos ejemplos de la documentación y los informes específicamente relacionados con esta categoría de fuentes.

- Si se aplica el método DPO, deberán documentarse los datos históricos y los valores de k utilizados.

- También deberá documentarse, con la información pertinente, la distribución de los desechos hacia vertederos controlados y no controlados, con el fin de determinar el FCM.
- Si se presenta información sobre recuperación de metano, es conveniente incluir un inventario de las instalaciones de recuperación de que se tenga conocimiento. Las actividades de quema en antorcha y recuperación de energía deberán documentarse por separado.
- Deberán explicarse claramente los cambios ocurridos en los parámetros de un año para otro, e indicarse las referencias utilizadas.

No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. No obstante, el inventario debería incluir resúmenes de los métodos aplicados y referencias a las fuentes de los datos, para que las estimaciones de las emisiones que figuran en el informe sean transparentes y se pueda determinar el procedimiento que se utilizó para calcularlas.

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

Es una *buena práctica* llevar a cabo controles de calidad, como se describe en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de calidad y control de calidad”, y hacer revisar por expertos las estimaciones de las emisiones. También puede ser pertinente adoptar medidas adicionales de control de calidad, como se describe en los procedimientos de nivel 2, en el capítulo 8, y aplicar otros procedimientos de garantía de calidad, sobre todo si se utilizan métodos de niveles más altos para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se exhorta a los organismos encargados de los inventarios a que utilicen métodos de GC/CC de un nivel más alto respecto de las categorías principales de fuentes que se indican en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Asimismo, se puede lograr una mayor transparencia aportando documentación y explicaciones claras con respecto a la labor realizada en los siguientes aspectos:

Estimación de las emisiones por métodos diferentes

- Si las emisiones se estiman por el método DPO, los organismos encargados de los inventarios deberán estimarlas también por el método por defecto del IPCC. Los resultados pueden ser de utilidad para hacer comparaciones con otros países. Los organismos encargados de los inventarios deberán registrar los resultados de esas comparaciones para fines de documentación interna, e investigar cualquier discrepancia que se detecte.

Revisión de los factores de emisión

- Los organismos encargados de los inventarios deberán confrontar los valores específicos del país con los valores del IPCC a los efectos de las estimaciones. El propósito de esto es determinar si los parámetros nacionales aplicados se consideran razonables en comparación con los valores por defecto del IPCC, teniendo en cuenta las semejanzas o diferencias existentes entre la categoría de fuentes nacionales y las fuentes de emisiones representadas por los valores por defecto.

Revisión de los datos de actividad

- Los organismos encargados de los inventarios deberán comparar los datos específicos del país con los valores por defecto del IPCC correspondientes a los siguientes parámetros del nivel de actividad: RSU_T , RSU_F y COD. Asimismo, deberán determinar si los parámetros nacionales son aceptables y comprobar que no haya errores en los cálculos. Si los valores son muy diferentes, los organismos encargados de los inventarios deberán caracterizar los residuos sólidos urbanos en forma separada de los desechos sólidos industriales.
- Cuando se utilizan datos provenientes de estudios y muestreos para compilar los valores nacionales de los datos de actividad sobre desechos sólidos, los procedimientos de CC deberán incluir:
 - i) la revisión de los métodos de reunión de datos utilizados en los estudios y el examen de dichos datos para garantizar que hayan sido correctamente compilados y agregados. Los organismos encargados de los inventarios deberán confrontar los datos con los de años anteriores para asegurarse de que sean razonables;
 - ii) la evaluación de las fuentes de datos secundarios, haciendo referencia a las actividades de GC/CC vinculadas a la preparación de tales datos secundarios. Esto es de particular importancia en lo que

respecta a los datos sobre desechos sólidos, dado que la mayoría de esos datos se prepararon con fines diferentes a los de los inventarios de gases de efecto invernadero.

Participación de expertos de la industria y el gobierno en la revisión

- Los organismos encargados de los inventarios deberán dar a los expertos la posibilidad de revisar los parámetros aplicados. Por ejemplo, las características de los desechos sólidos y su disposición deberán ser revisadas por especialistas en las prácticas nacionales de gestión de desechos sólidos. Otros expertos deberán revisar los factores de corrección para el metano.

Verificación de las emisiones

- Los organismos encargados de los inventarios deberán comparar las tasas de emisión nacionales con las de países similares que tengan características demográficas y económicas comparables. Esta comparación deberá hacerse con aquellos países cuyos organismos a cargo de los inventarios utilicen el mismo método de estimación del CH₄ procedente de vertederos. Los organismos deberán analizar cualquier discrepancia importante que se detecte para determinar si se debe a errores de cálculo o a diferencias reales.

5.2 EMISIONES PROCEDENTES DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales domésticas y de los efluentes industriales en condiciones anaeróbicas produce CH₄⁵. Los aspectos metodológicos relativos a las emisiones de CH₄ procedentes de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas y los efluentes industriales se analizan en forma separada, ya que los tipos de datos de actividad y factores de emisión requeridos para cada subcategoría de fuentes son diferentes. Ambos sistemas de aguas residuales se analizan en la sección 5.2.2, “Presentación de informes y documentación”, y en la sección 5.2.3, “Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC)”.

5.2.1 Aspectos metodológicos

5.2.1.1 AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

En los países desarrollados, la mayor parte de las aguas residuales domésticas se trata en instalaciones y estanques anaeróbicos. En los países en desarrollo, una pequeña parte de las aguas residuales domésticas se recoge mediante sistemas de alcantarillado, y el resto queda en fosas o letrinas.

Es posible que algunos efluentes industriales se descarguen en la red de alcantarillado urbano, donde se combinan con las aguas residuales domésticas.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

Las *Directrices del IPCC* describen un solo método para el cálculo de las emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento de las aguas residuales domésticas. Las emisiones están en función del volumen de desechos generados y de un factor de emisión que caracteriza la medida en que tales desechos generan CH₄. Todo el CH₄ recuperado y quemado en antorcha o utilizado como energía debe descontarse de las emisiones totales. La ecuación general simplificada que describe el método es la siguiente:

ECUACIÓN 5.5

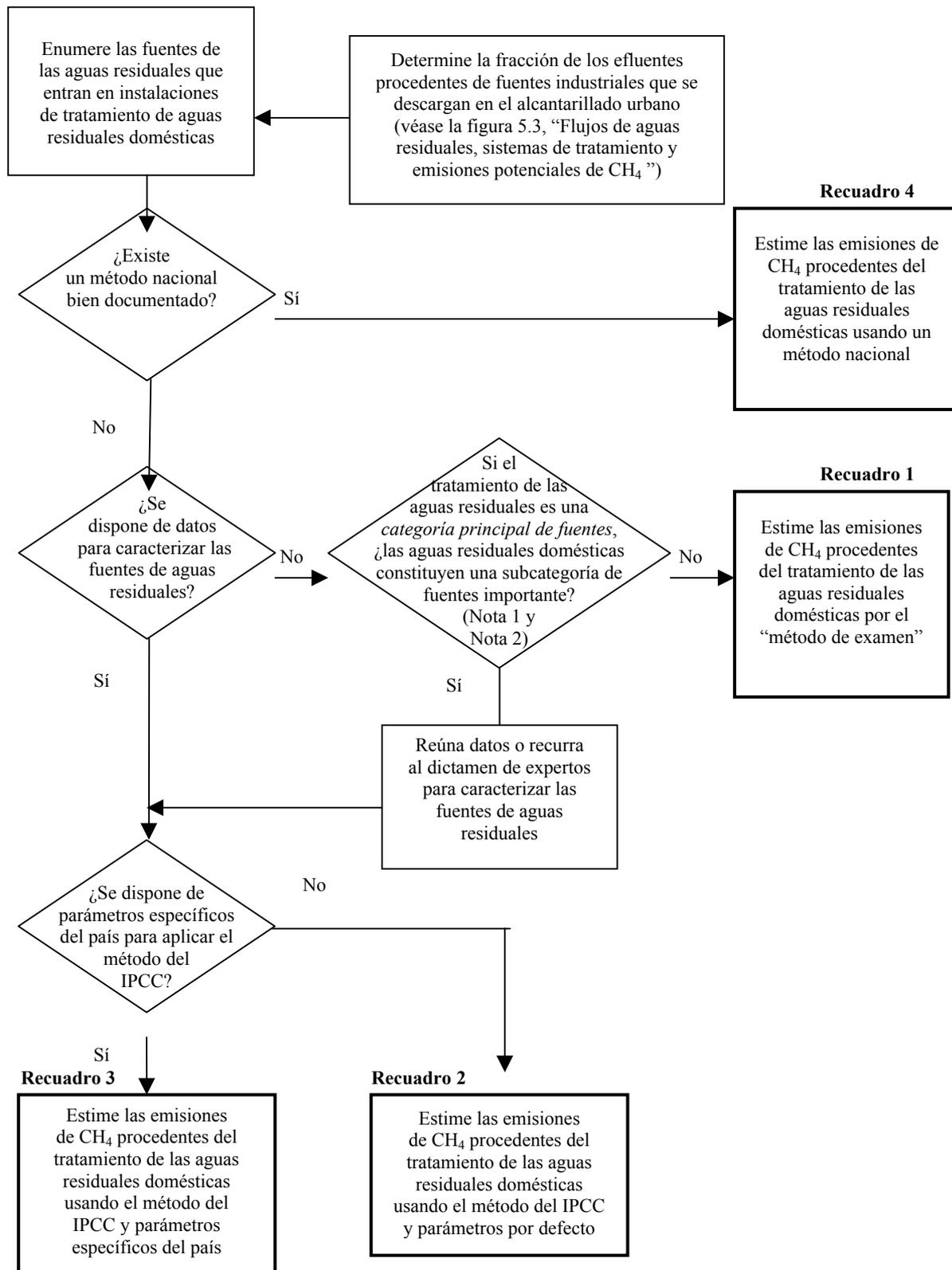
$$\text{Emisiones} = (\text{desechos orgánicos totales} \cdot \text{factor de emisión}) - \text{recuperación de metano}$$

Este método puede aplicarse con un menor o mayor grado de desagregación, dependiendo de los datos de actividad y factores de emisión disponibles. El árbol de decisiones de la figura 5.2, “Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento de las aguas residuales domésticas”, describe la forma de determinar el grado de desagregación apropiado mediante la aplicación del método del IPCC. Sin perjuicio del grado de desagregación utilizado, las medidas de *buena práctica* que deben adoptarse en la preparación del inventario con respecto al CH₄ procedente de las aguas residuales son las siguientes:

- i) caracterización de los sistemas de aguas residuales en el país;
- ii) elección de los parámetros más convenientes;
- iii) aplicación del método del IPCC.

⁵ Los métodos de *buena práctica* para la estimación de las emisiones indirectas de óxido nitroso (N₂O) procedentes de la disposición de las aguas residuales se describieron, junto con otras fuentes indirectas de N₂O, en la sección 4.8, “Emisiones indirectas de N₂O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura”, del capítulo 4, “Agricultura”. En vista de la situación actual en materia de disponibilidad de datos, el método altamente simplificado que se describe en las *Directrices del IPCC* para estimar las emisiones directas de N₂O procedentes de la disposición de aguas residuales constituye una *buena práctica*. Sin embargo, esta es una esfera en la que deberá seguirse trabajando en el futuro para alcanzar el grado de detalle necesario en las partes pertinentes del sector Agricultura.

Figura 5.2 Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento de las aguas residuales domésticas



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

Nota 2: Como regla general, una subcategoría de fuentes es importante cuando representa entre el 25% y el 30% de las emisiones procedentes de la categoría de fuentes.

RECUADRO 5.1
MÉTODO DE EXAMEN

La ecuación 5.6 representa un método de examen rápido de las estimaciones nacionales. Se incluyen los valores por defecto de los parámetros para poder hacer un cálculo de muestra.

ECUACIÓN 5.6

$$WM = P \cdot D \cdot SBF \cdot FE \cdot FTA \cdot 365 \cdot 10^{-12}$$

donde:

WM = emisión anual de CH₄ procedente de aguas residuales domésticas, por país (Tg)

P = población nacional o urbana de algunos países en desarrollo (número de personas)

D = carga orgánica en la demanda bioquímica de oxígeno por persona (g de DBO/persona/día),
valor general por defecto = 60 g de DBO/persona/día

SBF = fracción de la DBO que se sedimenta rápidamente, valor por defecto = 0,5

FE = factor de emisión (g de CH₄/g de DBO), valor por defecto = 0,6

FTA = fracción de la DBO presente en los lodos que se degrada anaeróbicamente, valor por defecto = 0,8

Más del 50% de la DBO de las aguas residuales domésticas puede atribuirse a los sólidos no disueltos, muchos de los cuales se sedimentan rápidamente en una amplia gama de condiciones diferentes. Por ejemplo, un tanque de sedimentación convencional generalmente elimina el 33% de los sólidos en suspensión, en tanto que para muchos procesos a más largo plazo, como los estanques, las fosas sépticas, las letrinas y las alcantarillas sin pendiente, resulta más apropiada una cifra de 50%. Esto es lo que representa la expresión SBF en la ecuación anterior. Más aún, se estima que en muchos países una fracción muy importante de esta DBO sedimentada se degradará anaeróbicamente, lo que tendrá como resultado un valor FTA elevado (0,8). Los restantes parámetros permanecen sin modificarse con respecto a lo establecido en las *Directrices del IPCC*.

Para aquellos países que cuentan con una extensa red de alcantarillado, que utilizan exclusivamente procesos aeróbicos y en los que los lodos se tratan mediante procedimientos que no producen CH₄ o mediante digestión anaeróbica con combustión de CH₄, el valor de FTA sería significativamente inferior o igual a cero. En esos casos, todo el método descrito en las *Directrices del IPCC* resultaría más exacto. Cuando en un país no se dispone de datos para determinar el porcentaje de la población que está conectada a los distintos tipos de tratamiento en uso y, en particular, cuando gran parte de la población carece de sistemas de alcantarillado, la aplicación completa del procedimiento del IPCC puede pasar por alto emisiones de importancia, por lo que se hace necesario cotejar sus resultados con los resultados del método de examen.

Este método puede usarse para estimar en forma aproximada las emisiones globales de CH₄ procedentes de las aguas residuales domésticas. Si se supone que la población mundial P es de 6.000 millones de habitantes y se aplica un FE de 0,6, se obtiene un WM total de 32 Tg/año. Este valor se encuentra en el mismo rango que la estimación global de 29 Tg/año que figura en Doorn y Liles (1999).

ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISION

El factor de emisión de cada tipo de desechos es una función del potencial máximo de producción de metano de cada tipo de desechos (B_o) y del promedio ponderado de los factores de conversión del metano (FCM) de los distintos sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en el país, como se describe en la ecuación 5.7. El FCM indica la medida en que se hace efectivo el potencial de producción de metano (B_o) en cada tipo de método de tratamiento.

ECUACIÓN 5.7

$$\text{Factor de emisión} = B_0 \bullet \text{promedio ponderado de los FCM}$$

donde:

B_0 = capacidad máxima de producción de metano (kg de CH₄/kg de DBO o kg de CH₄/kg de DQO)

FCM = factor de conversión del metano (fracción)

A continuación se describe lo que se deriva de cada uno de estos términos.

Capacidad máxima de producción de metano (B_0)

La *buena práctica* aconseja utilizar datos específicos del país para el valor B_0 , expresado en términos de kg de CH₄/kg de DBO eliminada, para mantener la coherencia con los datos de actividad. Si no se dispone de datos específicos del país, se puede utilizar un valor por defecto. Sobre la base de un cálculo teórico, las *Directrices del IPCC* sugieren un valor por defecto de 0,25 kg de CH₄/kg de DQO (demanda química de oxígeno). Existen datos resultantes de pruebas de campo exhaustivas (Doorn y otros, 1997)⁶ que concuerdan plenamente con este valor por defecto.

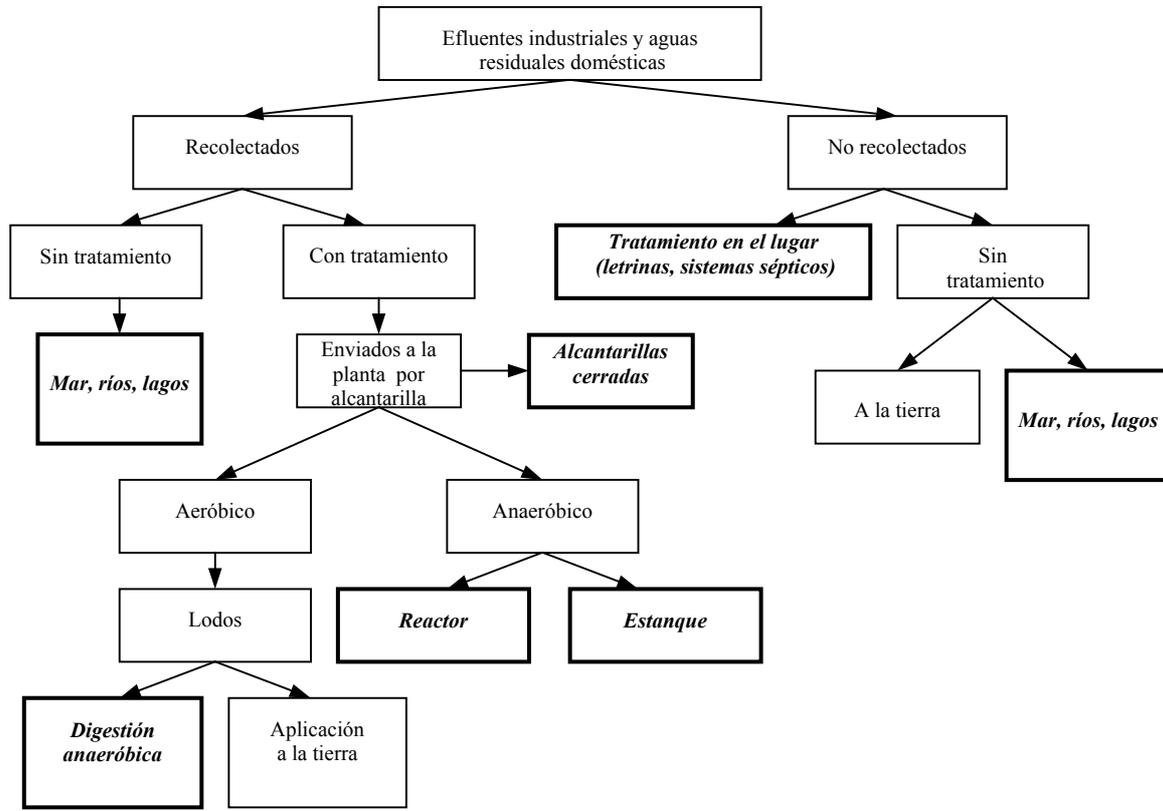
Cabe destacar que el carbono degradable presente en los desechos orgánicos puede medirse en términos de DBO o DQO. Las aguas residuales domésticas sin tratar tiene comúnmente un valor de DQO (mg/l) que es 2 a 2,5 veces mayor que el de la DBO (mg/l). Por lo tanto, es importante usar factores de emisión que sean coherentes con la forma de medir el carbono degradable que se utilice. Las *Directrices del IPCC* establecen solamente un valor por defecto de la B_0 que debe aplicarse tanto a la DQO como a la DBO. Ello no es coherente con las diferencias que se han observado entre los niveles de la DBO y la DQO en las aguas residuales sin tratar. Habida cuenta de las diferencias en las cantidades de DBO y DQO presentes en las aguas residuales, esto puede dar lugar a estimaciones diferentes de los niveles de emisión de la misma cantidad de aguas residuales, dependiendo de la forma en que se mida el carbono. Para que la estimación de las emisiones procedentes de un determinado volumen de aguas residuales sea la misma, cualquiera sea la forma de medición del carbono orgánico que se utilice, es preciso convertir el valor de B_0 basado en la DQO en un valor basado en la DBO, multiplicando el primero por un factor por defecto de 2,5. Por lo tanto, es una *buena práctica* usar un valor por defecto de 0,25 kg de CH₄/kg de DQO o un valor por defecto de 0,6 kg de CH₄/kg de DBO.

Promedio ponderado de los FCM

El FCM es una estimación de la fracción de DBO o DQO que en última instancia se degradará anaeróbicamente. El primer paso para determinar el FCM ponderado es caracterizar los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se utilizan en el país, haciendo una lista de las fuentes de emisión de CH₄. La figura 5.3 muestra un panorama completo del pasaje de las aguas residuales domésticas y los efluentes industriales a través de las distintas formas de tratamiento. Las formas de tratamiento destacadas en negrita son las fuentes potenciales de CH₄.

⁶ Esta referencia indicaba un valor representativo de 0,21 kg de CH₄/kg de DQO.

Figura 5.3 Flujos de aguas residuales, sistemas de tratamiento y emisiones potenciales de CH₄



Nota: Los textos en letra cursiva dentro de un recuadro en negrita se refieren a fuentes potenciales de emisión de CH₄.

En las *Directrices del IPCC*, el valor ponderado del FCM se determina de acuerdo con la ecuación 5.8:

ECUACIÓN 5.8

$$FCM_i \text{ ponderado} = \sum_x (WS_{ix} \cdot FCM_x)$$

donde:

WS_{ix} = fracción del tipo i de aguas residuales, tratadas con el sistema x

FCM_x = factores de conversión del metano de cada sistema x de tratamiento de aguas residuales

Las *Directrices del IPCC* proponen calcular las aguas residuales en forma separada de los lodos que se extraen de ellas. Sin embargo, esta distinción es inaplicable en la mayoría de los países, ya que los lodos rara vez se recogen en forma separada. Si los lodos se separaran en la práctica, y si se contara con las estadísticas apropiadas, entonces estas subcategorías de fuentes deberían calcularse por separado. Esta separación no influirá en la estimación general, a menos que el país cuente con mediciones de la B₀ de los lodos y aguas residuales. Lo habitual es que los valores teóricos por defecto de la B₀ de los lodos y aguas residuales sean los mismos. Si se utilizan factores por defecto, las emisiones procedentes de las aguas residuales y de los lodos pueden estimarse en forma conjunta. En ese caso no es necesario sumar todos los términos i. Cuando las emisiones procedentes de los lodos de las aguas residuales no se estiman por separado, es posible que el FCM ponderado correspondiente al tratamiento primario y al tratamiento aeróbico secundario deba ser mayor que cero, reflejando así las vías de tratamiento de los lodos que se utilizan normalmente en el país. Sin perjuicio del tipo de tratamiento al que se

sometan los lodos, es importante que no se incluyan en este sector las emisiones de CH₄ procedentes de sólidos biológicos (lodos) enviados a vertederos o utilizados en la agricultura.

Como se mencionó anteriormente, la caracterización de las aguas residuales determinará la fracción de cada tipo de ellas que se somete a un tipo particular de tratamiento. Para determinar el tipo de sistema de tratamiento utilizado, es una *buena práctica* recurrir a las estadísticas nacionales (solicitándolas por ejemplo a las autoridades reguladoras). Si no se dispone de esos datos, las asociaciones que se ocupan de las aguas residuales u organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) pueden tener información sobre el sistema utilizado. De lo contrario, puede ser útil consultar a especialistas en saneamiento y guiarse por el dictamen de esos expertos (en el capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”, se da una orientación general sobre la forma de obtener el dictamen de expertos). Las estadísticas sobre urbanización pueden ser una herramienta útil (p.ej. las relativas al tamaño de las ciudades y a la distribución del ingreso), partiendo de la base de que en la mayoría de los países es menos probable que las poblaciones rurales tengan acceso a sistemas de tratamiento de las aguas residuales.

Si no se dispone de datos nacionales, entonces se puede modificar la ecuación 5.8 como se indica a continuación, para incorporar el dictamen especializado de ingenieros sanitarios y otros especialistas en la materia:

ECUACIÓN 5.9

FCM ponderado = fracción de la DBO que en última instancia se degradará anaeróbicamente

La determinación del FCM ponderado sobre la base del dictamen de expertos debe documentarse íntegramente. Se pueden utilizar los datos por defecto indicados en las *Directrices del IPCC* para respaldar dicho dictamen especializado.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad correspondientes a esta categoría de fuentes consisten en la cantidad de desechos orgánicos existente en un país. El total de desechos orgánicos (TDO) es una función de la población humana y la generación de desechos por cada persona, expresados en términos de demanda bioquímica de oxígeno (kg de DBO/año):

ECUACIÓN 5.10

$$TDO = P \cdot D_{\text{dom}}$$

donde:

TDO = total de desechos orgánicos (en kg de DBO/año)

P = población humana (1000 personas)

D_{dom} = componente orgánico degradable (kg de DBO/1000 personas/año)

Como se mencionó anteriormente, el carbono degradable presente en los desechos orgánicos puede medirse como DBO o como DQO, y el valor basado en la DQO debe convertirse en un valor basado en la DBO, multiplicándolo por un factor por defecto de 2,5. En el caso de las aguas residuales domésticas, es más probable que se disponga de datos sobre la DBO. En las *Directrices del IPCC* se indican valores por defecto de la DBO para distintas regiones del mundo (véase el cuadro 6-5 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*).

Las estadísticas sobre la población total pueden obtenerse fácilmente de los organismos nacionales de estadística o de las Naciones Unidas. Si se cree que en las zonas rurales se degradan aeróbicamente grandes cantidades de desechos, como sucede en algunos países en desarrollo, es una *buena práctica* calcular esta estimación utilizando únicamente los datos sobre la población urbana.

EXHAUSTIVIDAD

En las *Directrices del IPCC* se detallan los principales métodos de tratamiento de las aguas residuales que se utilizan en los países desarrollados y en desarrollo (véase el cuadro 6-4 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*). En ese cuadro se mencionan fuentes como las letrinas, la descarga en ríos, las redes de alcantarillado y las fosas sépticas, pero el método actual no permite incluirlas (véase Doorn y Liles, 1999, para obtener más información sobre las emisiones procedentes de dichas fuentes). Un diagrama como el de la figura

5.3, “Flujos de aguas residuales, sistemas de tratamiento y emisiones potenciales de CH₄”, puede resultar de mayor utilidad que el cuadro 6-4 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones procedentes del tratamiento de las aguas residuales domésticas deberán calcularse utilizando el mismo método y los mismos conjuntos de datos para cada año de la serie temporal. Cuando no se disponga de datos coherentes para el mismo método respecto de algunos años de la serie temporal, se podrán calcular nuevamente los datos que falten de acuerdo con la orientación proporcionada en la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

El cuadro 5.3 muestra los rangos de incertidumbre asignados a los parámetros analizados *supra*.

CUADRO 5.3 RANGOS DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	
Parámetro	Rango de incertidumbre
Población humana	-5%, +5%
DBO/persona	-30%, +30%
Capacidad máxima de producción de metano (B ₀)	-30%, +30%
Fracción sometida a tratamiento anaeróbico	El rango de incertidumbre debe determinarse mediante el dictamen de expertos, teniendo en cuenta que se trata de una fracción, y que las incertidumbres no deben hacer que se salga de ese rango de 0 a 1.
Fuente: Dictamen del Grupo de expertos (véase “Copresidentes, Editores y Expertos; Emisiones de CH ₄ y N ₂ O procedentes del tratamiento de las aguas residuales”).	

En el capítulo 6 se da asesoramiento sobre la cuantificación de las incertidumbres en la práctica. También se brinda orientación en cuanto a la forma de obtener y utilizar dictámenes de expertos, los cuales, combinados con datos empíricos, pueden permitir hacer estimaciones generales de la incertidumbre.

5.2.1.2 EFLUENTES INDUSTRIALES

Los efluentes industriales pueden ser tratados *in situ* o liberados en las redes de alcantarillado de las aguas residuales domésticas. Si los efluentes industriales se liberan en esas redes, sus emisiones deberán analizarse junto con las de las aguas residuales domésticas. Por lo tanto, esta sección se referirá a la estimación de las emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento *in situ* de los efluentes industriales.

ELECCIÓN DEL MÉTODO

El método de cálculo de las emisiones procedentes de los efluentes industriales previsto en las *Directrices del IPCC* es similar al que se aplica a las aguas residuales domésticas. La determinación de los factores de emisión y los datos de actividad es una tarea más compleja porque existen muchas clases de efluentes e industrias distintas que analizar.

Las estimaciones más exactas de las emisiones correspondientes a esta categoría de fuentes se basan en los datos de mediciones realizadas en fuentes localizadas. Debido al elevado costo de estas mediciones y al número potencialmente alto de fuentes, se hace muy difícil obtener un amplio conjunto de datos de mediciones. En consecuencia, se sugiere a los organismos encargados de los inventarios que apliquen una variación del método de arriba hacia abajo de las *Directrices del IPCC*. El árbol de decisiones de la figura 5.4 define un criterio de *buena práctica* para adaptar los métodos de las *Directrices del IPCC* a esas circunstancias específicas de un país.

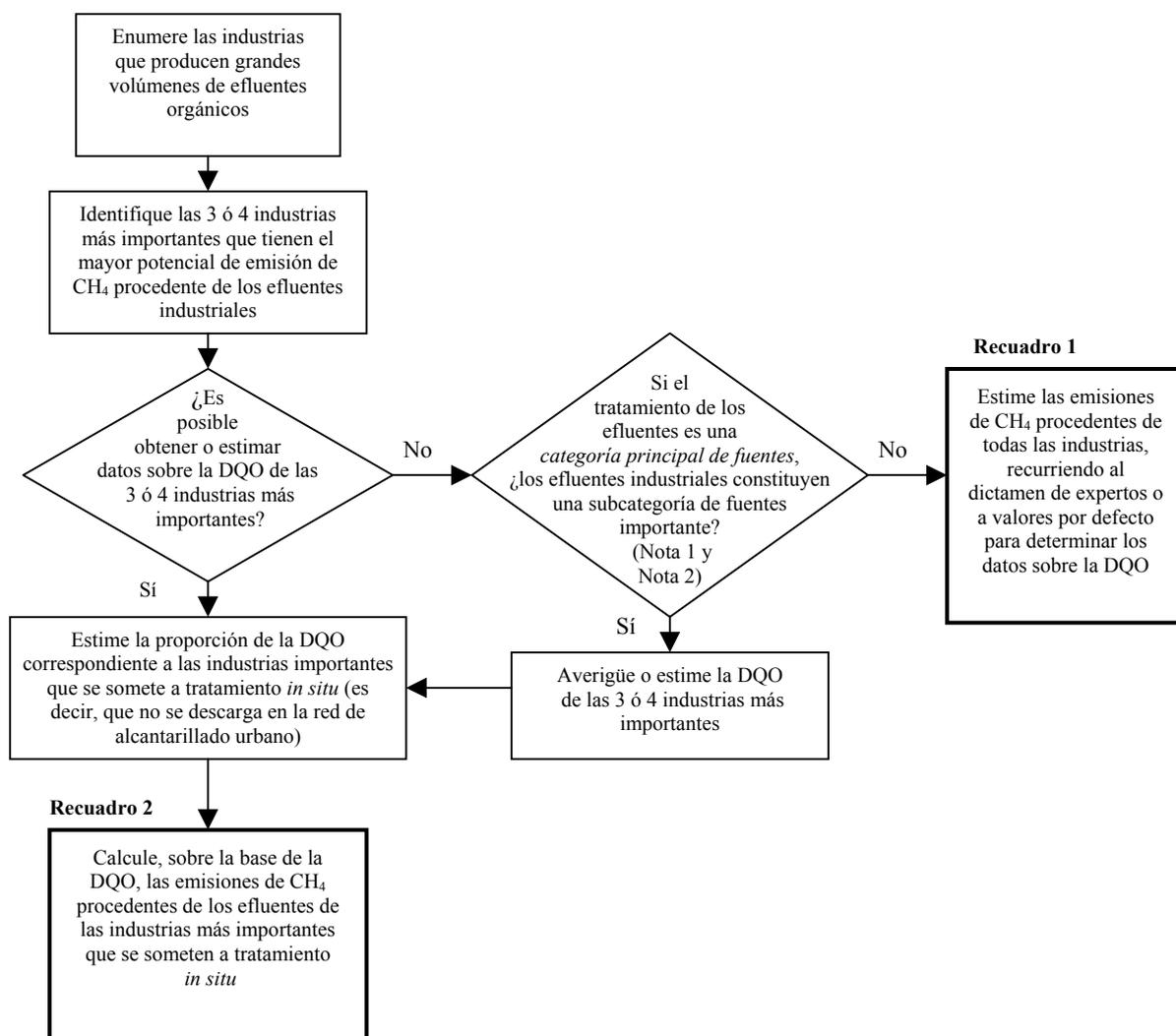
ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Existen diferencias importantes en el potencial de emisión de CH₄ de los distintos tipos de efluentes industriales. En la medida de lo posible, se deberán obtener datos que permitan determinar la capacidad máxima de producción de metano (B₀) y la fracción de desechos que se somete a tratamiento anaeróbico (FCM ponderado) en cada industria. Es una *buena práctica* usar datos específicos de cada país y de cada sector de la industria, que

pueden obtenerse de autoridades públicas, organizaciones industriales o expertos de la industria. Sin embargo, hoy en día la mayoría de los organismos encargados de los inventarios descubren que no hay datos detallados específicos de cada sector industrial o que, si esos datos existen, están incompletos. Cuando no se dispone de datos nacionales, es una *buen práctica* utilizar el factor por defecto que propone el IPCC para la B₀, basado en la DQO (0,25 kg de CH₄/kg de DQO).

Para determinar la fracción de los desechos que se somete a tratamiento anaeróbico se deberá recurrir al dictamen de expertos, basado en el asesoramiento de ingenieros y otros especialistas en la materia. Una técnica útil para estimar estos datos consiste en realizar un estudio de las prácticas de tratamiento de los efluentes industriales y hacerlo revisar por especialistas en la materia. Estos estudios deben realizarse con suficiente frecuencia como para reflejar las principales tendencias en las prácticas industriales (p.ej., cada 3 a 5 años). En la sección 6.2.5, “Dictamen de expertos”, del capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”, se describe la forma de obtener el dictamen de expertos sobre los rangos de incertidumbre. Pueden usarse protocolos similares para obtener la información necesaria para otros tipos de datos en los casos en que no se disponga de publicaciones y estadísticas al respecto.

Figura 5.4 **Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento de los efluentes industriales**



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

Nota 2: Como regla general, una subcategoría de fuentes es importante cuando representa entre el 25% y el 30% de las emisiones procedentes de la categoría de fuentes.

ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

El primer paso que debe darse a fin de estimar el total de desechos orgánicos industriales consiste en caracterizar, mediante una lista, los sectores industriales del país que producen grandes volúmenes de efluentes orgánicos. Dado que es probable que la mayor parte de los efluentes industriales sean producidos por un pequeño número de industrias (p.ej., las de elaboración de alimentos, pulpa y papel), es una *buen práctica* concentrarse en esos sectores industriales. Los organismos nacionales de estadística, los organismos reguladores, las asociaciones para el tratamiento de las aguas residuales o las asociaciones industriales pueden suministrar esa información.

El paso siguiente consiste en cuantificar la contribución que aportan a la DQO los tres o cuatro sectores industriales más importantes que se hayan identificado. Para ello puede ser necesario recurrir al dictamen de expertos en la materia. En algunos países, los datos sobre la DQO y el volumen total de agua utilizado en cada sector pueden obtenerse directamente del organismo regulador. Otra posibilidad es extraer de la bibliografía pertinente datos sobre la producción industrial y la cantidad de toneladas de DQO producidas por cada tonelada de productos. Las *Directrices del IPCC* presentan valores de DQO representativos de algunas industrias. Sin embargo, dichos valores han sido actualizados, como puede verse más abajo (cuadro 5.4). Ambas fuentes son congruentes con las *buenas prácticas*, dependiendo de las circunstancias nacionales. A las demás industrias se les debe asignar una producción general combinada de DQO. Los datos sobre la producción pueden extraerse de las estadísticas nacionales.

Es posible que una fracción importante de los efluentes industriales se descargue en el alcantarillado urbano para su tratamiento o disposición junto con las aguas residuales domésticas. Esa fracción deberá probablemente estimarse sobre la base de un dictamen de expertos, y sumarse al volumen de aguas residuales domésticas.

CUADRO 5.4
DATOS SOBRE LOS EFLUENTES INDUSTRIALES

Tipo de industria	Generación de efluentes (m ³ /Mg)	Rango de generación de efluentes (m ³ /Mg)	DBO (g/l)	Rango de DBO (g/l)	DQO (g/l)	Rango de DQO (g/l)
Alimentos para animales	ND		ND		ND	
Refinación de alcoholes	24	16-32	ND	3-11	11	5-22
Cerveza y malta	6,3	5,0-9,0	1,5	1-4	2,9	2-7
Café	ND		5,4	2-9	9	3-15
Coque	1,5	1,3-1,7	ND	0,1	0,1	
Productos lácteos	7	3-10	2,4	1-4	2,7	1,5-5,2
Fármacos y medicamentos	ND		0,9		5,1	1-10
Explosivos	ND		ND		ND	
Elaboración de pescado	ND	8-18	1,5		2,5	
Carnes y aves	13	8-18	2,5	2-3	4,1	2-7
Sustancias químicas orgánicas	67	0-400	1,1	1-2	3	0,8-5
Pinturas	ND	1-10	ND		ND	1-10
Refinerías de petróleo	0,6	0,3-1,2	0,4	1-8	1,0	0,4-1,6
Plásticos y resinas	0,6	0,3-1,2	1,4	1-2	3,7	0,8-5
Pulpa y papel (combinados)	162	85-240	0,4	0,3-8	9	1-15
Jabón y detergentes	ND	1,0-5,0	ND	0,3-0,8	ND	0,5-1,2
Refrescos	ND	2,0	ND	1,0	ND	2,0
Producción de almidón	9	4-18	2,0	1-25	10	1,5-42
Refinación de azúcar	ND	4-18	ND	2-8	3,2	1-6
Textiles (naturales)	172	100-185	0,4	0,3-0,8	0,9	0,8-1,6
Aceites vegetales	3,1	1,0-5,0	0,5	0,3-0,8	ND	0,5-1,2
Hortalizas, frutas y jugos	20	7-35	1,0	0,5-2	5,0	2-10
Vinos y vinagres	23	11-46	0,7	0,2-1,4	1,5	0,7-3,0

Notas: ND = no se dispone de datos.
 Cuando se dispone de pocos datos, se supone que el rango varía entre -50% y +100%.
 Fuente: Doorn y otros (1997).

EXHAUSTIVIDAD

Las industrias pueden preparar inventarios que abarquen las emisiones procedentes del tratamiento *in situ* de los efluentes. Es una *buen práctica* utilizar esas estimaciones, siempre que sean transparentes y congruentes con los principios de GC/CC establecidos en el capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. El método nacional de estimación debe tener el grado de desglose suficiente para permitir reconocer el cálculo separado de estas emisiones, y evitar así que se contabilicen por partida doble.

DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones procedentes del tratamiento de los efluentes industriales deben calcularse utilizando el mismo método y los mismos conjuntos de datos para cada año de la serie temporal. Cuando no se disponga de datos coherentes correspondientes al mismo método para algunos años de la serie temporal, se podrán calcular los datos que falten de acuerdo con la orientación proporcionada en la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Los rangos de incertidumbre que figuran en el cuadro 5.5 se asignaron a los parámetros analizados *supra*.

CUADRO 5.5 RANGOS DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO CORRESPONDIENTES A LOS EFLUENTES INDUSTRIALES	
Parámetro	Rango de incertidumbre
Producción industrial	-25%, +25%. Recorra al dictamen de expertos sobre la calidad de los datos, para poder asignar un rango de incertidumbre más exacto.
Efluentes/unidad de producción DQO/unidad de efluentes	Estos datos pueden ser muy inciertos, ya que el mismo sector puede usar distintos procedimientos de tratamiento de los desechos en diferentes países. El producto de los parámetros debería mostrar una incertidumbre menor. Puede atribuirse directamente un valor de incertidumbre a cada kg de DQO/tonelada métrica de producto. Se sugiere un rango de -50%, +100% (es decir, un factor de 2).
Capacidad máxima de producción de metano (B ₀)	-30%, +30%
Fracción sometida a tratamiento anaeróbico	El rango de incertidumbre debe determinarse mediante el dictamen de expertos, teniendo en cuenta que se trata de una fracción, y que las incertidumbres no deben hacer que se salga del rango de 0 a 1.
Fuente: Dictamen del Grupo de expertos (véase “Copresidentes, Editores y Expertos; Emisiones de CH ₄ y N ₂ O procedentes del tratamiento de los efluentes”).	

5.2.2 Presentación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para preparar las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se describe en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. A continuación se dan algunos ejemplos de la documentación y los informes específicamente relacionados con esta categoría de fuentes.

Los cuadros sectoriales existentes, acompañados de un informe detallado sobre el inventario, aportarán la transparencia adecuada a esta categoría de fuentes. En los cuadros se separa necesariamente el tratamiento de los efluentes industriales del de las aguas residuales domésticas. En el informe sobre el inventario se deberá proporcionar la información restante sobre los datos de actividad, las presunciones utilizadas y las referencias, en forma de texto. Es de particular importancia documentar el uso de datos por defecto al establecer los valores de los parámetros. El organismo encargado del inventario deberá incluir en la hoja de trabajo dos columnas adicionales, una para observaciones y otra para referencias (por número).

No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. No obstante, el inventario debería incluir resúmenes de los métodos aplicados y referencias a las fuentes de los datos, para que las estimaciones de las emisiones que figuran en el informe sean transparentes y se pueda determinar el procedimiento que se utilizó para calcularlas (tales como los cambios introducidos en los valores por defecto de los FCM).

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

Es una *buena práctica* llevar a cabo controles de calidad, como se describe en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de calidad y control de calidad”, y hacer revisar por expertos las estimaciones de las emisiones. También puede ser pertinente adoptar medidas adicionales de control de calidad, como se describe en los procedimientos de nivel 2, en el capítulo 8, y aplicar otros procedimientos de garantía de calidad, sobre todo si se utilizan métodos de niveles más altos para

determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se exhorta a los organismos encargados de los inventarios a que utilicen métodos de GC/CC de un nivel más alto respecto de las categorías principales de fuentes que se indican en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Asimismo, se puede lograr una mayor transparencia aportando documentación y explicaciones claras con respecto a la labor realizada en los siguientes aspectos:

Comparación de las estimaciones de las emisiones por métodos diferentes

- En lo que respecta a las aguas residuales domésticas, los organismos encargados de los inventarios deberán comparar la estimación nacional, según corresponda, con las emisiones que se hayan estimado utilizando los valores por defecto del IPCC o el “método de examen”. Este tipo de comparación recíproca debe constituir una práctica corriente de CC en todos los casos en que no se apliquen parámetros por defecto en el método de estimación. Los organismos encargados de los inventarios deberán registrar los resultados de dichas comparaciones con fines de documentación interna, e investigar cualquier discrepancia que resulte inexplicable.

Revisión de los factores de emisión

- En el caso de las aguas residuales domésticas, los organismos encargados de los inventarios deberán comparar los valores de B_0 específicos del país con el valor por defecto del IPCC (0,25 kg de CH_4 /kg de DQO o 0,6 kg de CH_4 /kg de DBO). Si bien no se dispone de valores por defecto del IPCC para la fracción de los desechos que se somete a tratamiento anaeróbico, se exhorta a los organismos encargados de los inventarios a que confronten los valores de los FCM con los de otros países que apliquen prácticas similares de tratamiento de las aguas residuales.
- Los organismos encargados de los inventarios deberán confirmar que las unidades utilizadas para el carbono degradable presente en los desechos concuerden con las unidades usadas para la B_0 . A los efectos del cálculo de las emisiones, ambos parámetros deberán basarse en las mismas unidades (ya sea DBO o DQO). Deberá tenerse en cuenta esta misma consideración cuando se comparen las emisiones con los resultados del método de examen o con las emisiones de otro país.
- En lo que respecta a los efluentes industriales, los organismos encargados de los inventarios deberán confrontar los valores de FCM con los de otros inventarios nacionales que tengan características similares en lo relativo a los efluentes industriales.

Revisión de los datos de actividad

- En el caso de los efluentes industriales, los organismos encargados de los inventarios deberán revisar los conjuntos de datos secundarios (p.ej., las estadísticas nacionales o los datos suministrados por organismos reguladores, asociaciones para el tratamiento de las aguas residuales o asociaciones industriales) que se hayan utilizado para estimar y clasificar la producción de desechos industriales en términos de DQO. En algunos países puede haber un control reglamentario de las descargas industriales, en cuyo caso es posible que ya existan protocolos importantes de GC/CC para determinar las características de los efluentes de cada industria.
- Los organismos encargados de los inventarios deberán comparar los datos específicos del país (la DBO de las aguas residuales domésticas o la DQO de la producción industrial) con los valores por defecto del IPCC. Si los organismos encargados de los inventarios utilizan valores específicos del país, deberán documentar las causas de las diferencias existentes entre esos valores específicos del país o de la industria, y los valores por defecto.

Participación de expertos de la industria en la revisión

- En algunos países, el tratamiento de las aguas residuales domésticas está sometido a una vigilancia y una reglamentación estrictas (especialmente en las zonas urbanas), lo que puede dar lugar a que se solicite la intervención de especialistas en la materia para que revisen los elementos que se hayan tenido en cuenta en el cálculo de las emisiones. Esta revisión deberá ser realizada por expertos que conozcan el parámetro de entrada utilizado. La revisión por especialistas es particularmente importante a los efectos de verificar los valores de FCM y otros parámetros para los cuales el IPCC no establece valores por defecto que permitan hacer comparaciones recíprocas.
- En lo que respecta a los efluentes industriales, los organismos encargados de los inventarios deberán hacer participar a expertos industriales que conozcan determinados parámetros de entrada. Estos expertos deberán, por ejemplo, revisar las características de los efluentes industriales y su método de tratamiento, sobre la base de sus conocimientos especializados sobre una determinada industria. La revisión por especialistas es particularmente importante a los efectos de verificar los valores de FCM y otros parámetros para los cuales el IPCC no establece valores por defecto que permitan hacer comparaciones recíprocas.

5.3 EMISIONES PROCEDENTES DE LA INCINERACIÓN DE DESECHOS

5.3.1 Aspectos metodológicos

La incineración de desechos produce emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O. Es probable que las emisiones de CH₄ no sean importantes, debido a las condiciones de combustión en los incineradores (es decir, las altas temperaturas y el tiempo prolongado de permanencia). Normalmente, las emisiones de CO₂ procedentes de la incineración de desechos son significativamente mayores que las emisiones de N₂O. Actualmente, la incineración de desechos es más frecuente en los países desarrollados, aunque la incineración de desechos clínicos es una práctica común tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo.

La metodología que se describe en la presente sección se aplica a la incineración con y sin recuperación de energía. Las emisiones procedentes de la incineración de desechos sin recuperación de energía deberán declararse en el sector “Desechos”, mientras que las emisiones procedentes de la incineración sin recuperación de energía deberán declararse en el sector “Energía”.

De conformidad con las *Directrices del IPCC*, en las estimaciones de las emisiones deberán incluirse solamente las emisiones de CO₂ resultantes de la incineración del carbono de origen fósil presente en los desechos (p.ej., plásticos, algunos productos textiles, caucho, disolventes líquidos y aceite de desecho). No se incluye la fracción de carbono existente en los materiales de biomasa (p.ej., papel, restos de alimentos y productos de la madera).

5.3.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

La elección de un método de *buena práctica* dependerá de las circunstancias nacionales. Los árboles de decisiones de las figuras 5.5, “Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CO₂ procedentes de la incineración de desechos”, y 5.6, “Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de N₂O procedentes de la incineración de desechos”, definen un criterio de *buena práctica* para adaptar los métodos de las *Directrices del IPCC* a esas circunstancias específicas del país. En las figuras 5.5 y 5.6 se describe la elección del método para estimar las emisiones de CO₂ y las de N₂O respectivamente.

Las estimaciones más exactas de las emisiones pueden obtenerse mediante la determinación de las emisiones procedentes de cada tipo de desechos (p.ej., residuos sólidos urbanos (RSU), lodos de aguas residuales, desechos clínicos y desechos peligrosos).

Los métodos de estimación de las emisiones de CO₂ y N₂O procedentes de la incineración de desechos son diferentes, debido a los distintos factores que influyen en los niveles de emisión. Por ese motivo se analizan a continuación en forma separada.

Estimación de las emisiones de CO₂

Las *Directrices del IPCC* describen un método para estimar las emisiones de CO₂ procedentes de la incineración de desechos. Como puede verse en la ecuación 5.11, los datos de actividad reflejan la cantidad de desechos que se colocan en el incinerador, y el factor de emisión se basa en el contenido de carbono de los desechos que sea exclusivamente de origen fósil. Las estimaciones más exactas de las emisiones de CO₂ se obtienen desglosando los datos de actividad en los distintos tipos de desechos (p.ej., residuos sólidos urbanos, lodos de aguas residuales, desechos clínicos y desechos peligrosos). La eficiencia de combustión de la combustión también deberá incluirse en el cálculo.

ECUACIÓN 5.11

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ (Gg/año)} = \sum_i (DI_i \cdot CCD_i \cdot FCF_i \cdot EF_i \cdot 44 / 12)$$

donde:

i = RSU: residuos sólidos urbanos

DP: desechos peligrosos

DC: desechos clínicos

LAR: lodos de aguas residuales

DI_i = cantidad de desechos del tipo i incinerados (Gg/año)

CCD_i = fracción de contenido de carbono en los desechos del tipo i

FCF_i = fracción de carbono fósil en los desechos del tipo i

EF_i = eficiencia de consunción de la combustión en incineradores para los desechos del tipo i (fracción)

$44 / 12$ = conversión de C en CO_2

Figura 5.5 Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CO_2 procedentes de la incineración de desechos

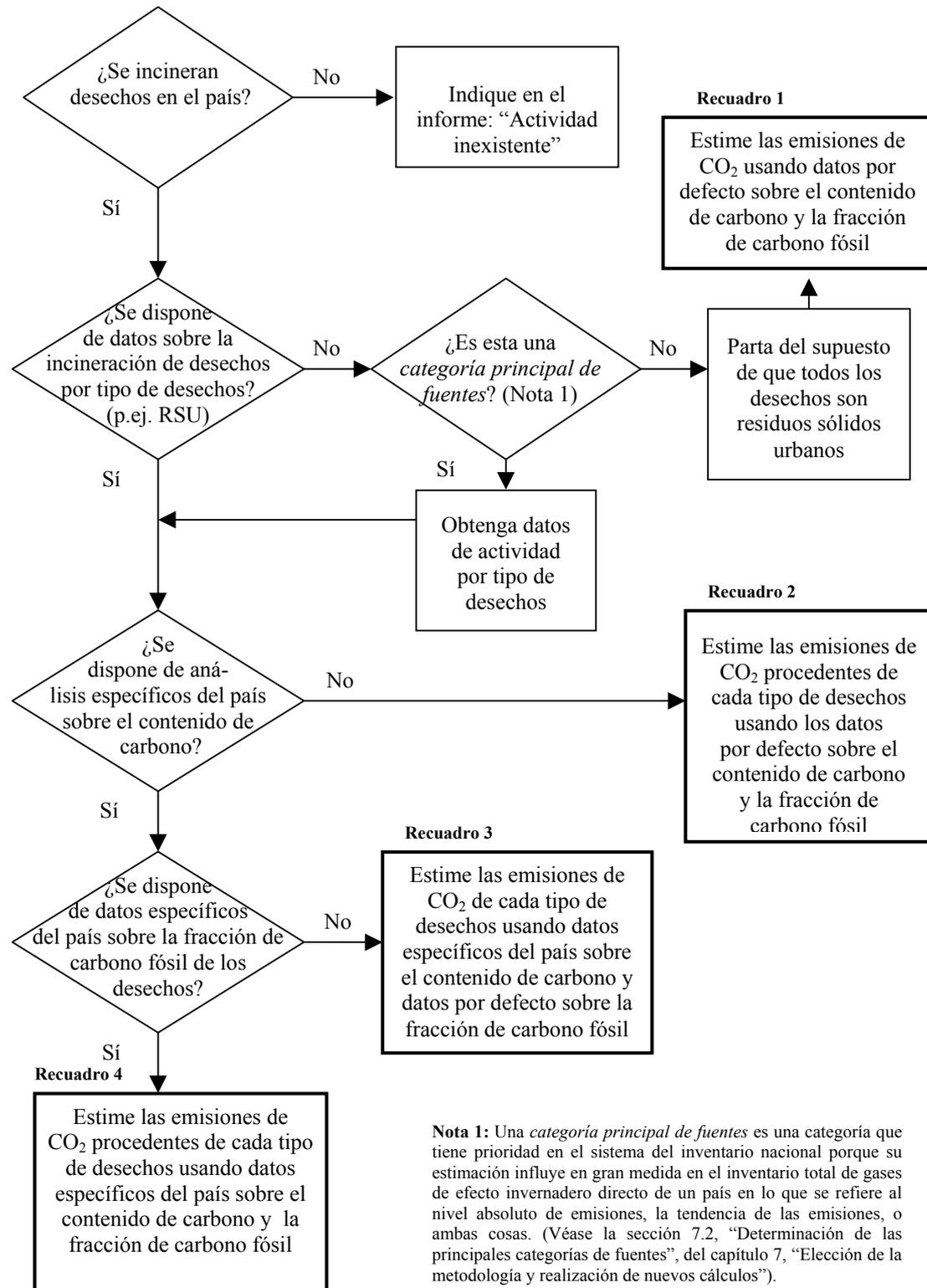
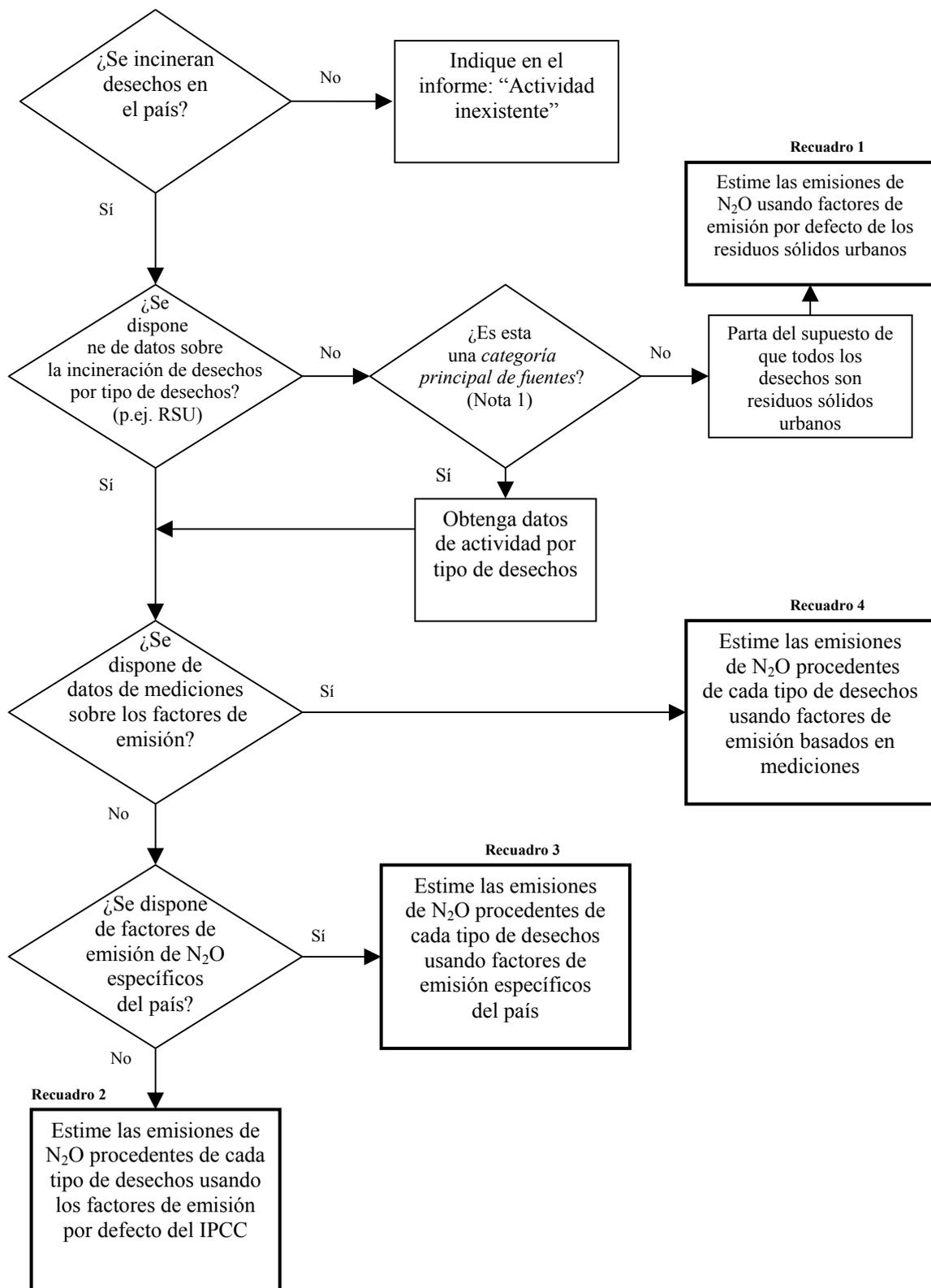


Figura 5.6 Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de N₂O procedentes de la incineración de desechos



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

Se puede usar el árbol de decisiones de la figura 5.5 para estimar las emisiones de CO₂ procedentes de cada planta incineradora, así como para estimar las emisiones procedentes de todas las plantas. Los mejores resultados se obtienen cuando se determinan las emisiones de cada planta y luego se suman.

Estimación de las emisiones de N₂O

El cálculo de las emisiones de N₂O se basa en la cantidad de desechos colocados en los incineradores y en un factor de emisión:

$$\text{ECUACIÓN 5.12}$$

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O (Gg/año)} = \sum_i (DI_i \cdot FE_i) \cdot 10^{-6}$$

donde:

DI_i = cantidad de desechos del tipo i incinerados (Gg/año)

FE_i = factor de emisión de N₂O agregado correspondiente a los desechos del tipo i (kg de N₂O/Gg)

o:

$$\text{ECUACIÓN 5.13}$$

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O (Gg/año)} = \sum_i (DI_i \cdot CE_i \cdot VGC_i) \cdot 10^{-9}$$

donde:

DI_i = cantidad de desechos del tipo i incinerados (Gg/año)

CE_i = concentración de emisiones de N₂O en el gas de combustión de los desechos del tipo i (mg de N₂O/m³)

VGC_i = volumen de gas de combustión por cantidad de desechos del tipo i incinerados (m³/Mg)

La figura 5.6 muestra un árbol de decisiones de carácter general para la estimación de las emisiones de N₂O procedentes de la incineración de desechos. Ese árbol de decisiones puede utilizarse también para estimar otros gases (p.ej., el NO_x). Los mejores resultados se obtienen determinando las emisiones de N₂O de cada planta sobre la base de los datos de vigilancia correspondientes a cada una de ellas en particular y sumando luego las emisiones.

5.3.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN Y DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Emisiones de CO₂

Normalmente, la presencia de CO₂ en los gases de escape no se vigila directamente. Se puede calcular a partir del contenido total de carbono de los desechos. Eso es lo que se hace comúnmente en la mayoría de los países. Las emisiones de CO₂ también pueden estimarse utilizando datos por defecto sobre el contenido de carbono (véase el cuadro 5.6, "Datos por defecto para la estimación de las emisiones de CO₂ procedentes de la incineración de desechos"). No obstante, cuando se desconoce el contenido de carbono de los desechos pero el organismo encargado del inventario tiene datos bien documentados sobre mediciones de las emisiones de CO₂ procedentes de la incineración de desechos, esos datos pueden utilizarse para calcular el contenido de carbono de los desechos en un país en particular.

Puede ser difícil distinguir entre los componentes biogénicos y fósiles de los desechos destinados a la incineración. Los datos necesarios para determinar dichas fracciones pueden obtenerse del análisis de los desechos con que cuentan muchos países. Sin embargo, a menudo se carece de datos reales sobre el origen de los desechos, o los datos existentes no están actualizados.

Es probable que las fracciones de carbono fósil y biogénico varíen considerablemente en el futuro, debido a la legislación sobre desechos que se ha aprobado recientemente en muchos países (p.ej., el Japón, Noruega y los Estados Unidos). La legislación repercutirá en el flujo total de desechos que se incineran, así como en el contenido de carbono fósil de los desechos incinerados. Las consecuencias que tendrá la nueva legislación en lo que respecta al contenido de carbono fósil son inciertas, y actualmente se dispone de pocos datos ya que aún se siguen produciendo cambios.

La fracción de carbono fósil varía según el tipo de desechos. El carbono presente en los RSU y en los desechos clínicos es tanto de origen biogénico como fósil (en el cuadro 5.6 figuran datos por defecto). El carbono fósil presente en los lodos de las aguas residuales generalmente puede pasarse por alto (son sólo trazas de detergentes y otras sustancias químicas). El carbono presente en los desechos peligrosos es normalmente de origen fósil (los datos por defecto correspondientes figuran en el cuadro 5.6).

Es una *buena práctica* partir del supuesto de que la composición de los RSU incinerados es la misma que la de los RSU generados en el país. Sin embargo, si una determinada fracción de RSU se incinera por separado, deberá determinarse específicamente el contenido de carbono de esos volúmenes.

CUADRO 5.6				
DATOS POR DEFECTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ PROCEDENTES DE LA INCINERACIÓN DE DESECHOS				
	RSU	Lodos de las aguas residuales	Desechos clínicos	Desechos peligrosos
Contenido de C de los desechos	33%-50% de los desechos (húmedos) por defecto: 40%	10%-40% de los lodos (materia seca) por defecto: 30%	50%-70% de los desechos (materia seca) ^a por defecto: 60%	1%-95% de los desechos (húmedos) por defecto: 50%
Carbono fósil expresado como % del total de carbono	30%-50% por defecto: 40%	0%	30%-50% por defecto: 40% se requiere más información	90%-100% ^b por defecto: 90%
Eficiencia de la combustión ^c	95%-99% por defecto: 95%	95%	50%-99,5% por defecto: 95%	95%-99,5% por defecto: 99,5%
<p>^a Los desechos clínicos contienen principalmente papel y plásticos. El contenido de carbono puede estimarse sobre la base de los siguientes factores: contenido de C del papel: 50%, y contenido de C de los plásticos: 75%-85%</p> <p>^b El carbono fósil puede reducirse cuando incluye carbono procedente de materiales de empaque y similares.</p> <p>^c Depende del diseño, mantenimiento y antigüedad de la planta.</p> <p>Fuente: Dictamen del Grupo de expertos (véase “Copresidentes, Editores y Expertos; Emisiones procedentes de la incineración de desechos”).</p>				

Emisiones de N₂O

Siempre que resulte práctico hacerlo, los factores de emisión de N₂O deberán calcularse sobre la base de las mediciones de las emisiones. La vigilancia continua de las emisiones es técnicamente viable, pero no constituye necesariamente una *buena práctica*. Las mediciones periódicas deben hacerse con la suficiente frecuencia como para reflejar la variabilidad de la generación de N₂O (p.ej., debido a las variaciones en la composición de los desechos), y las distintas condiciones de funcionamiento de los incineradores (p.ej., la temperatura de combustión). En la sección 8.7.1.3, “Mediciones directas de las emisiones”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, se da más orientación acerca de la representatividad de estos factores. Cuando no se disponga de datos de mediciones, deberán usarse otros medios fiables para determinar los factores de emisión (véase la figura 5.6, “Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de N₂O procedentes de la incineración de desechos”).

Los factores de emisión del N₂O difieren según el tipo de instalación y el tipo de desechos. Los factores de emisión correspondientes a las plantas incineradoras de lecho fluidizado son superiores a los de las plantas con sistemas de quema en chimenea. Los factores de emisión de los RSU son menores que los de los lodos de las aguas residuales. Los rangos de los factores de emisión de N₂O reflejan el uso de técnicas de reducción (la inyección de amoníaco o urea, tal como se aplica en algunas tecnologías de reducción de NO_x, puede aumentar las emisiones de N₂O), la temperatura y el tiempo de permanencia de los desechos en el incinerador.

Si no se dispone de factores de emisión de N₂O específicos de cada planta, se pueden utilizar factores por defecto (véase el cuadro 5.7, “Factores de emisión del N₂O procedente de la incineración de desechos”).

Muchos de los países que incineran desechos deberían contar con datos específicos de cada planta sobre la cantidad de desechos incinerados.

En lo que respecta a los desechos peligrosos y los desechos clínicos, puede ser más difícil obtener datos de actividad, ya que los desechos incinerados en alguna de esas plantas (p.ej., los incineradores *in situ* de la industria química y farmacéutica) pueden no estar incluidos en las estadísticas sobre desechos. En el caso de

estos tipos de desechos es posible que no se disponga de datos específicos de cada planta, pero pueden obtenerse datos globales sobre el total de desechos incinerados de los organismos reguladores.

La categorización de los distintos tipos de desechos varía de un país a otro (p.ej., en el Japón los lodos de las aguas residuales se incluyen en los desechos industriales), así como dentro de los propios países (p.ej., a nivel urbano o a nivel regional). Por lo tanto, la comparación entre los distintos tipos de desechos puede resultar compleja. Siempre que sea posible, la categorización de los desechos deberá realizarse como se ha explicado anteriormente, para facilitar su coherencia y comparación.

5.3.1.3 EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad depende de los informes que se presenten sobre los tipos de desechos y las cantidades incineradas. Si el método se aplica a nivel de las instalaciones, sumando luego las cifras correspondientes a todas ellas, es una *buena práctica* cerciorarse de que se hayan incluido todas las plantas de incineración de desechos. Los organismos encargados de los inventarios deberán esforzarse por informar sobre todos los tipos de desechos que se generan en sus respectivos países.

Cabe señalar que existe la posibilidad de que las emisiones de CO₂ se contabilicen por partida doble, ya que a menudo los desechos se incineran en instalaciones con capacidad de recuperación de energía. Además, los desechos pueden utilizarse como sustituto de los combustibles en plantas industriales que no sean de incineración de desechos (p.ej., en hornos de cemento y ladrillos y en altos hornos). Para evitar esa doble contabilización, las emisiones procedentes de dichos procesos deberán declararse en la sección “otros combustibles” del sector “Energía”, y no dentro de la categoría de fuentes correspondiente a la disposición de desechos.

CUADRO 5.7 FACTORES DE EMISIÓN DEL N ₂ O PROCEDENTE DE LA INCINERACIÓN DE DESECHOS				
Tipo de planta de incineración	RSU kg de N ₂ O/Gg de desechos (secos)	Lodos de las aguas residuales kg de N ₂ O/Gg de lodos de las aguas residuales (materia seca)	Desechos clínicos kg de N ₂ O/Gg de desechos (secos)	Desechos peligrosos (procedentes de la industria) kg de N ₂ O/Gg de desechos (secos)
Hogar o chimenea	5,5-66 (Alemania) promedio: 5,5-11 valor más alto: 30 (Reino Unido) 40-150 (Japón: húmedos)	400 (Japón: húmedos)	ND	ND
Rotatoria	ND	ND	ND	210-240 (Alemania)
Lecho fluidizado	240-660 (Japón: húmedos)	800 (Alemania) 100-1500 (Reino Unido) 300-1530 (Japón: húmedos)	ND	ND
Nota: ND = No se dispone de datos. Fuentes: Alemania: Johnke (1999), Reino Unido: <i>Environment Agency</i> (Organismo para el Medio Ambiente) (1999), Japón: Yasuda (1993).				

5.1.1.1 DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones procedentes de la incineración de desechos deberán calcularse utilizando el mismo método y los mismos conjuntos de datos para cada año de la serie temporal. Cuando no se disponga de datos coherentes para el mismo método respecto de algunos años de la serie temporal, se podrán calcular nuevamente los datos que falten de acuerdo con la orientación proporcionada en la sección 7.3.2.2, “Otras técnicas para hacer nuevos cálculos”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

5.1.1.2 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

En los cuadros 5.6 y 5.7 se indican rangos por defecto de las estimaciones de las emisiones de CO₂ y N₂O, pero los organismos encargados de los inventarios deberán asignar a los factores de emisión las incertidumbres específicas de cada país, especialmente si se utilizan datos obtenidos mediante sistemas de vigilancia.

La información más reciente tendrá un menor grado de incertidumbre, porque reflejará los cambios producidos en las prácticas, los nuevos adelantos técnicos o los cambios en las fracciones (biogénica y fósil) de los desechos incinerados. En muchos países desarrollados, se estima que las incertidumbres en el volumen de desechos incinerados son de aproximadamente 5%, pero esa incertidumbre podría ser mayor en el caso de algunos desechos, como los clínicos.

La principal incertidumbre con respecto al CO₂ es la estimación de la fracción de carbono fósil. Hay un alto grado de incertidumbre en cuanto a la separación de la fracción de carbono biogénico de la de origen fósil.

La medición directa o la vigilancia de las emisiones de N₂O muestran un menor grado de incertidumbre. En el caso de la vigilancia continua y periódica de las emisiones, la incertidumbre depende de la precisión de los instrumentos de medición. En lo que respecta a las mediciones periódicas, la incertidumbre también dependerá de la frecuencia con que se realice el muestreo.

Cuando se aplican valores por defecto para determinar los factores de emisión de N₂O, se estima que los rangos de incertidumbre pueden alcanzar al 100%.

En el capítulo 6 se brinda orientación sobre la cuantificación de las incertidumbres en la práctica y, en particular, sobre la forma de obtener y utilizar dictámenes de expertos, los cuales, combinados con datos empíricos, pueden permitir hacer estimaciones generales de la incertidumbre

5.3.2 Presentación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para preparar las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se describe en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. A continuación se dan algunos ejemplos de la documentación y los informes específicamente relacionados con esta categoría de fuentes.

No resulta práctico incluir toda la documentación en el informe sobre el inventario nacional. No obstante, el inventario debería incluir resúmenes de los métodos aplicados y referencias a las fuentes de los datos, para que las estimaciones de las emisiones que figuran en el informe sean transparentes y se pueda determinar el procedimiento que se utilizó para calcularlas.

Algunos países usan distintos sistemas de categorización de los desechos a nivel local o regional. En ese caso, el organismo encargado del inventario deberá revisar el grado de compatibilidad existente entre el sistema de categorización de su país y el del IPCC, y fundamentar el método que haya utilizado para modificar los datos a fin de ajustarlos a las categorías del IPCC. Los organismos encargados de los inventarios deberán indicar claramente los distintos tipos de desechos incluidos en sus estimaciones.

Los organismos encargados de los inventarios también deberán proporcionar información en cuanto a la forma en que obtuvieron los datos sobre el contenido de carbono, la fracción de carbono fósil y los factores de emisión de N₂O.

Existen muchas plantas de incineración que generan electricidad y calor. La combustión de desechos para la producción de energía deberá declararse dentro del sector “Energía” de las *Directrices del IPCC* (CO₂ generado por fuentes fijas de combustión). Los desechos deberán declararse en la sección “otros combustibles” del sector “Energía”. Estas emisiones no deberán declararse dentro del sector “Desechos” de las *Directrices del IPCC*, para evitar que se contabilicen por partida doble.

En algunos casos se utiliza gas, petróleo u otros combustibles como combustibles de apoyo para poner en marcha el proceso de incineración o mantener su temperatura. El consumo de combustible de apoyo con estos fines no deberá declararse en la sección relativa a la incineración de desechos, sino en el sector “Energía”. Los combustibles de apoyo normalmente representan menos del 3% del aporte calorífico total, pero pueden ser más importantes en el caso de la incineración de desechos peligrosos.

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

Es una *buena práctica* llevar a cabo controles de calidad, como se describe en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de calidad y control de calidad”, y hacer revisar por expertos las estimaciones de las emisiones. También puede ser pertinente adoptar medidas adicionales de control de calidad, como se describe en los procedimientos de nivel 2, en el capítulo 8, y aplicar otros procedimientos de garantía de calidad, sobre todo si se utilizan métodos de niveles más altos para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Se exhorta a los organismos encargados de los inventarios a que utilicen métodos de GC/CC de un nivel más alto respecto de las categorías principales de fuentes que se indican en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Asimismo, se puede lograr una mayor transparencia aportando documentación y explicaciones claras con respecto a la labor realizada en los siguientes aspectos:

Revisión de las mediciones directas de las emisiones

- Cuando se disponga de datos sobre mediciones directas, los organismos encargados de los inventarios deberán confirmar que las mediciones se hayan hecho de acuerdo con métodos uniformes reconocidos a nivel internacional. Si las prácticas de medición no se ajustan a este criterio, entonces se deberá evaluar cuidadosamente el uso de esos datos sobre las emisiones.
- Cuando las emisiones se midan en forma directa, los organismos encargados de los inventarios deberán comparar entre sí los factores correspondientes a cada planta, y cotejarlos también con los valores por defecto del IPCC. Asimismo deberán revisar cualquier diferencia significativa que se detecte entre dichos factores.

Revisión de los factores de emisión

- Los organismos encargados de los inventarios deberán comparar los valores específicos de un país o de una planta con respecto al contenido de carbono de los desechos, el carbono fósil como fracción del carbono total y la eficiencia de la combustión del incinerador, con los valores por defecto que figuran en el cuadro 5.6.
- Los organismos encargados de los inventarios deberán revisar los procedimientos de CC asociados a los datos y al análisis de la incineración de desechos que se hayan utilizado para determinar los factores de emisión específicos de cada planta incineradora. Si las medidas de CC son insuficientes, deberá evaluarse la incertidumbre de las estimaciones nacionales, y quizá también la conveniencia de utilizar dichos datos.

Participación de expertos en el proceso de revisión

- La revisión por parte de especialistas en la materia deberá centrarse en la caracterización del combustible de desecho y en las situaciones en las que no se usen datos por defecto. Esto resulta particularmente pertinente en el caso de los desechos peligrosos y clínicos, ya que éstos a menudo no se cuantifican por planta, y pueden variar considerablemente de una planta a otra.

REFERENCIAS

EMISIONES DE METANO PROCEDENTES DE LOS VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS

- Bingemer, H.G. y P.J. Crutzen (1987). "The production of methane from solid wastes." *Journal of Geophysical Research*, 92 (D2), págs. 2181 a 2187.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (1997). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Volumen 3, Manual de Referencia*, J.T. Houghton y otros, IPCC/OCDE/AIE, París, Francia.
- Oonk, H. y T. Boom (1995). *Landfill gas formation, recovery and emissions*, TNO-report R95-203, TNO, Apeldoorn, Países Bajos.

EMISIONES PROCEDENTES DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

- Doorn, M.R.J., R. Strait, W. Barnard, y B. Eklund (1997). *Estimate of Global Greenhouse Gas Emissions from Industrial and Domestic Wastewater Treatment*, Informe final, EPA-600/R-97-091, preparado para el Organismo de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (USEPA), Research Triangle Park, NC, Estados Unidos.
- Doorn, M.R.J. y D. Liles (1999). *Global Methane, Quantification of Methane Emissions and Discussion of Nitrous Oxide, and Ammonia Emissions from Septic Tanks, Latrines, and Stagnant Open Sewers in the World*. EPA-600/R-99-089, preparado para el USEPA, Research Triangle Park, NC, Estados Unidos.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (1997). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Volumen 3, Manual de Referencia*, J.T. Houghton y otros, IPCC/OCDE/AIE, París, Francia.
- Lexmond, M.J. y G. Zeeman (1995). *Potential of controlled anaerobic wastewater treatment in order to reduce the global emissions of the greenhouse gases methane and carbon dioxide*. Informe No. 95-1, Departamento de Tecnología Ambiental, Universidad Agrícola de Wageningen, P.O. Box 8129, 6700 EV Wageningen, Países Bajos.

EMISIONES PROCEDENTES DE LA INCINERACIÓN DE DESECHOS

- Organismo para el Medio Ambiente del Reino Unido (1999). Notas de orientación técnica del Organismo para el Medio Ambiente, *Environment Agency's Pollution Inventory* (datos de 1998), Reino Unido.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (1997). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Volumen 3, Manual de Referencia*. J.T. Houghton y otros, IPCC/OCDE/AIE, París, Francia.
- Johnke, B. (1999). "Emissions from waste incineration". Documento de antecedentes para la *Reunión de expertos sobre las buenas prácticas en la preparación de los inventarios: emisiones procedentes de los desechos*. Programa de Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero del IPCC, la OCDE y la AIE (aún no publicado – TSU, Japón)
- Yasuda, K. (1993). *Emissions of Greenhouse Gases from Waste Incineration*. Informe del Centro de Investigación Ambiental de Kanagawa, vol. 16, págs. 49 a 53, Kanagawa Environmental Research Center, Kanagawa, Japón.