

# Materiales de formación del GCE Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Sector de los desechos

Versión 2, abril de 2012



## Público objetivo y finalidad de los materiales de formación

---

- Estos materiales de formación son adecuados para personas con unos conocimientos entre **básicos** e **intermedios** sobre la elaboración de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (GEI).
- Tras leer esta presentación y la documentación relacionada, el lector debería:
  - a) haber adquirido una **perspectiva general** sobre cómo se desarrollan los inventarios de emisiones para el sector de los desechos;
  - b) haber adquirido **conocimientos generales** sobre las directrices de la CMNUCC y del IPCC;
  - c) ser capaz de **determinar qué métodos** se adaptan mejor a la situación de su país;
  - d) saber dónde **consultar información más detallada** sobre los temas tratados.
- Estos materiales de formación **se han elaborado principalmente a partir de metodologías desarrolladas por el IPCC**; por tanto, **se invita al lector a consultar los documentos originales** si desea información más detallada sobre algún aspecto concreto.



## Siglas

---

- **DBO** demanda bioquímica de oxígeno
- **COD** carbono orgánico degradable
- **BDFE** Base de datos de factores de emisión del IPCC
- **GEI** Gases de efecto invernadero
- **OBP** orientación sobre buenas prácticas
- **DSU** desechos sólidos urbanos
- **VDS** vertedero de desechos sólidos



## Contenido del curso – Sector de los desechos

---

- Introducción (diapositiva 5)
- Definiciones (diapositiva 7)
- Directrices del IPCC revisadas en 1996 (diapositiva 29)
- Orientación sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (diapositiva 46)



## Introducción

---

- Los inventarios de GEI en los sectores biológicos, como el de los desechos, presentan las siguientes características:
  - a) *Limitaciones metodológicas*
  - b) *Carencia de datos o poca fiabilidad de los datos existentes*
  - c) *Gran incertidumbre*
- Esta presentación pretende servir de apoyo a las Partes no incluidas en el anexo I (NAI) en la elaboración de los inventarios de GEI según las Directrices del IPCC revisadas en 1996, en particular en el contexto de la decisión 17/CP.8 de la CMNUCC, que se centra en:
  - a) *La necesidad de aplicar la Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas (2000) y aumentar los niveles/métodos para reducir la incertidumbre*
  - b) *Resumen completo de los instrumentos y métodos*
  - c) *Uso del programa informático para inventarios de la CMNUCC y la BDFE*
  - d) *Evaluación de los datos de actividad y factores de emisión y opciones para reducir la incertidumbre*
  - e) *Uso de fuentes esenciales, metodologías y árboles de decisión*



## Ejemplos de las Partes NAI

---

- Análisis de las comunicaciones nacionales
- Los inventarios de GEI indican que el sector de los desechos podría ser significativo en los países NAI
- Normalmente, es una fuente considerable de CH<sub>4</sub>
- En algunos casos, es una fuente considerable de N<sub>2</sub>O
- Los vertederos de desechos sólidos (SEDS) suelen constituir una fuente esencial de emisiones de CH<sub>4</sub>.



- **Emisiones procedentes de desechos** – emisiones de GEI procedentes de las actividades de gestión de desechos (gestión de desechos sólidos y líquidos, excluido el CO<sub>2</sub> emitido durante la incineración o el uso para fines energéticos de la materia orgánica).
- **Fuente** – todo proceso o actividad que libera un GEI (por ejemplo, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) a la atmósfera.

- **Datos de actividad** – datos sobre la magnitud de las actividades humanas que dan lugar a las emisiones que se producen durante un período determinado (por ejemplo, datos sobre la cantidad de desechos, los sistemas de gestión y los desechos incinerados).
- **Factor de emisión** – coeficiente que relaciona los datos de actividad con la cantidad del compuesto químico que constituye la fuente de las últimas emisiones. Los factores de emisión se basan a menudo en una muestra de datos sobre mediciones, calculados como promedio para determinar una tasa representativa de las emisiones correspondientes a un determinado nivel de actividad en un conjunto dado de condiciones de funcionamiento.



# Directrices del IPCC revisadas en 1996 y Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas (2000)

Enfoque y pasos



## Emisiones procedentes de la gestión de desechos

---

- Descomposición de la materia orgánica presente en los desechos (carbono y nitrógeno)
- Incineración de desechos (estas emisiones no se incluyen cuando los desechos se utilizan para generar energía).



## Descomposición de los desechos

---

- Descomposición anaeróbica por bacterias metanogénicas de desechos generados por el hombre
  - a) Desechos sólidos
    - Vertederos
  - b) Desechos líquidos
    - Aguas residuales generadas por el hombre
    - Aguas residuales industriales
- Las aguas residuales también liberan óxido nítrico producido por descomposición proteica.



- Es la principal forma de eliminación de desechos sólidos en los países desarrollados.
- Se libera principalmente metano en una proporción decreciente, de manera que los desechos tardan muchos años en descomponerse totalmente.
- También se generan dióxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles.
- **El dióxido de carbono procedente la biomasa no se contabiliza ni incluye en ningún otro lugar.**

## Proceso de descomposición

---

- La materia orgánica se divide en pequeñas moléculas solubles (por ejemplo, azúcares).
- Se descompone en hidrógeno, dióxido de carbono y diversos ácidos.
- Los ácidos se convierten en ácido acético.
- El ácido acético, junto con el hidrógeno y el dióxido de carbono, son sustratos para bacterias metanogénicas.



## Metano procedente del vertido

---

- Volúmenes
  - a) Estimaciones relativas a vertederos: 20-70 Tg/año
  - b) Total de emisiones de metano generadas por la actividad humana: 360 Tg/año
  - c) Del 6 % al 20 % del total.
  
- Otros efectos
  - a) Daños a la vegetación
  - b) Olores desagradables
  - c) Riesgo de formación de mezclas explosivas



## Características del proceso metanogénico

---

- Muy heterogéneo
- Sin embargo, se deben considerar los siguientes factores:
  - a) prácticas de gestión de desechos
  - b) composición de los desechos
  - c) factores físicos



### **Tratamiento aeróbico de desechos**

- a) Se genera compost que puede aumentar el contenido de carbono del suelo.
- b) No se genera metano.

### **Vertederos no controlados**

- a) Son comunes en las regiones en desarrollo.
- b) Los desechos se apilan al aire libre, sin ser compactados firmemente, en zonas poco profundas.
- c) No se controlan los contaminantes y es frecuente la práctica de hurgar.
- d) Se ha constatado la producción de metano.
- e) Se emplea un factor arbitrario de vertido controlado del 50 %.



### **Vertederos controlados**

- a) Son concebidos específicamente.
- b) Se controlan los gases y las filtraciones.
- c) Se crea una economía de escala.
- d) Hay producción constante de metano.

- **La materia orgánica degradable puede variar:**
  - a) En los países en desarrollo es muy putrescible.
  - b) En los países desarrollados, debido al mayor volumen de papel y cartón, es menos putrescible.
  
- **Esto afecta a la estabilización y a la producción de metano:**
  - a) Países en desarrollo: 10–15 años
  - b) Países desarrollados: más de 20 años.

**Humedad** esencial para el metabolismo bacteriano:

- a) Factores: contenido de humedad inicial, filtración de aguas superficiales y subterráneas y procesos de descomposición.

**Temperatura:** se requieren entre 25 y 40 °C para una correcta producción de metano.

### Condiciones químicas

- a) pH óptimo para la producción de metano: entre 6,8 y 7,2
- b) La producción de metano disminuye considerablemente cuando el pH es inferior a 6,5.
- c) La acidez puede retrasar el inicio de la producción de metano.

### Conclusión

- a) Los datos disponibles resultan insuficientes para que los factores se puedan utilizar en las estimaciones de emisiones de metano a escala nacional o global.

## Emisiones de metano

---

- Dependen de varios factores.
- Los vertederos no controlados requieren otros enfoques.
- Disponibilidad y calidad de datos pertinentes.



## Tratamiento de aguas residuales

---

- Genera metano, óxido nitroso y compuestos orgánicos volátiles distintos del metano.
- Puede dar lugar al almacenamiento de carbono mediante eutrofización.



## Emisiones de metano procedentes del tratamiento de aguas residuales

---

- Proceden de procesos anaeróbicos sin recuperación de metano.
- Volúmenes
  - a) 30-40 Tg/año
  - b) Las emisiones antropogénicas de metano representan alrededor del 8-11 %.
  - c) Las emisiones industriales se estiman en 26-40 Tg/año.
  - d) Las emisiones domésticas y comerciales se estiman en 2 Tg/año.



## Factores para las emisiones de metano

---

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (+/+)
- Temperatura ( >15 °C)
- Tiempo de retención
- Mantenimiento de lagunas:
  - a) profundidad de las lagunas (>2,5 m, estrictamente anaeróbicas; menos de 1 m, no se espera que sean significativas; comúnmente facultativas, de entre 1,2 y 2,5 m – entre 20-30 % DBO anaeróbicamente)





## Demanda bioquímica de oxígeno

---

- Es el contenido orgánico de las aguas residuales («carga»).
- Representa el oxígeno consumido por las aguas residuales durante la descomposición (expresado en mg/l).
- La medición estándar es la «prueba de 5 días», conocida como  $\text{DBO}_5$ .
- Ejemplos de  $\text{DBO}_5$ :
  - a) Aguas residuales municipales 110-400 mg/l
  - b) Elaboración de alimentos 10 000-100 000 mg/l



## Fuentes industriales principales

---

- Elaboración de alimentos:
  - a) plantas de procesamiento (fruta, azúcar, carne, etc.)
  - b) Fábricas de productos lácteos
  - c) Fábricas de cerveza
  - d) Otros.
- Celulosa y papel



- **La incineración de desechos** puede producir:
  - a) dióxido de carbono, metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos nitrosos y compuestos orgánicos volátiles distintos del metano
- Sin embargo, estas emisiones representan solo un pequeño porcentaje de los GEI procedentes del sector de los desechos.

## Emisiones procedentes de la incineración de desechos

---

- Solamente se relacionan con la emisión de dióxido de carbono los desechos de origen fósil.
- Puede resultar difícil realizar estimaciones relativas a otros gases:
  - a) óxido nitroso procedente principalmente de la incineración de lodos.



- La metodología de inventario del sector de los desechos se basa en:
  - a) la descomposición de la materia orgánica; y
  - b) la incineración de materia orgánica de origen fósil.
  
- No incluye cálculos concretos de la última.
  
- En relación con la descomposición de materia orgánica se incluyen:
  - a) el metano procedente de la materia orgánica de desechos tanto sólidos como líquidos; y
  - b) el óxido nitroso procedente de las proteínas presentes en las aguas residuales generadas por el hombre.
  
- c) No incluye las emisiones de compuestos orgánicos volátiles distintos del metano.

## Categorías por defecto del IPCC

---

- Emisiones de metano procedentes de los vertederos de desechos sólidos
- Emisiones de metano procedentes del tratamiento de aguas residuales:
  - a) Aguas residuales domésticas y comerciales
  - b) Flujos de aguas residuales y lodos industriales
- Óxido nitroso procedente de las aguas residuales generadas por el hombre



- **Paso 1:** Análisis de las categorías de fuentes esenciales del sector de los desechos teniendo en cuenta lo siguiente:
  - a) *Se debe comparar el sector con otros sectores de fuente tales como el de la energía, la agricultura, UTCUTS, etc.*
  - b) *Se debe estimar la proporción que representa el sector de los desechos en el inventario nacional de GEI.*
  - c) *Se deben identificar los sectores de fuente esenciales adoptados por las Partes que ya hayan preparado una comunicación nacional inicial y dispongan de estimaciones del inventario.*
  - d) *Las Partes que no hayan preparado una comunicación nacional inicial pueden utilizar los inventarios elaborados en el marco de otros programas/proyectos.*
  - e) *Es posible que las Partes que no hayan preparado ningún inventario no puedan realizar el análisis de las categorías esenciales.*
  
- **Paso 2:** Seleccionar las categorías



- **Paso 3:** Compilar los datos de actividad que se requieran según el nivel seleccionado a partir de bases de datos a escala local, regional, nacional y global, incluyendo la BDFE
- **Paso 4:** Obtención de los datos de emisión/absorción necesarios en función del nivel seleccionado a partir de bases de datos de ámbito local, regional, nacional y global, incluida la BDFE.
- **Paso 5:** Selección del método de estimación en función del nivel y cuantificación de las emisiones/absorciones correspondientes a cada categoría
- **Paso 6:** Estimación de la incertidumbre
- **Paso 7:** Adopción de procedimientos de garantía de calidad/control de calidad y comunicación de los resultados
- **Paso 8:** Presentación de informes sobre las emisiones de GEI
- **Paso 9:** Presentación de informes sobre todos los procedimientos, ecuaciones y fuentes de datos utilizados en la estimación del inventario de GEI



- En el caso de los vertederos controlados, existen varios métodos:
  - a) Equilibrio de masas y rendimiento teórico del gas
  - b) Metodologías teóricas de cinética de primer orden
  - c) Método de regresión
- Modelos complejos no aplicables a regiones o países
- Se estima que las emisiones procedentes de los vertederos no controlados representan el 50 %, pero deberían registrarse por separado.

- Sin factores temporales
- Emisión inmediata de metano
- Permite obtener estimaciones razonables si la cantidad y la composición de los desechos se han mantenido constantes o han variado poco (en caso contrario, se produce una desviación de los resultados).
- Métodos de cálculo:
  - a) Mediante fórmulas empíricas
  - b) En función del contenido orgánico degradable

## Fórmulas empíricas

---

- Se parte del supuesto de que el 53 % del contenido de carbono se convierte en metano.
- Si se excluye la biomasa microbiana, la cantidad emitida disminuye.
- 234 m<sup>3</sup> de metano por tonelada de desechos sólidos urbanos húmedos.



## Contenido orgánico degradable (base del Nivel 1)

---

- Se calcula sobre la base del promedio ponderado del contenido de carbono de los distintos componentes de los desechos.
- Son necesarios los siguientes datos:
  - a) contenido de carbono de las fracciones
  - b) desglose de las fracciones que componen los desechos
- Este método constituye la base del método de cálculo del Nivel 1.



- **Emisiones de metano =**  
total de desechos sólidos urbanos (DSU) generados (Gg/año) x  
fracción depositada en vertederos  
fracción de carbono orgánico degradable (COD) en DSU x  
fracción de COD no asimilado x  
0,5 g de C como CH<sub>4</sub>/g de C como biogás x  
ratio de conversión (16/12) ) – CH<sub>4</sub> recuperado

## Presunciones

---

- En los países en desarrollo solo se consideran las poblaciones urbanas. Las emisiones procedentes de las áreas rurales son despreciables.
- La fracción no asimilada se determinó mediante un modelo teórico que varía con la temperatura:  $0,014T + 0,28$ , considerando una temperatura constante de 35 °C en la zona anaeróbica de un vertedero, da como resultado 0,77 de COD no asimilado.
- No se tienen en cuenta los procesos de oxidación ni los procesos aeróbicos.



## Ejemplo

---

- Desechos generados 235 Gg/año
- % depositado en vertederos 80
- % COD 21
- % COD no asimilado 77
- Recuperado 1,5 Gg/año
- Metano =

$$(235 * 0,80 * 0,21 * 0,77 * 0,5 * 16 / 12) - 1,5 = 19 \text{ Gg/año}$$



## Limitaciones

---

- Principales:
  - a) No se considera el factor tiempo.
  - b) No se tiene en cuenta la oxidación.
- La fracción de COD no asimilado es demasiado alta.
- No se considera el retraso de la emisión de metano en condiciones de aumento de la cantidad de desechos vertidos, lo que da lugar a importantes sobrestimaciones de las emisiones.
- El factor de oxidación puede alcanzar hasta un 50 % según algunos expertos; se debe considerar una reducción del 10 %.





- a) Se aplica un factor de corrección para el metano que depende del tipo de vertedero (factor de corrección de la gestión de los desechos). Los valores por defecto son de 0,4 en el caso de los vertederos no controlados poco profundos (<5m), 0,8 en el caso de los vertederos no controlados profundos ( $\geq 5$  m) y 1 en el caso de los vertederos controlados. A los vertederos no incluidos en ninguna categoría se les puede aplicar un factor de corrección de 0,6.
  
- b) La fracción de COD no asimilado se redujo de 0,77 a 0,5 – 0,6, debido a la presencia de lignina.

- La fracción de metano presente en el gas de vertedero se modificó de 0,5 a un rango comprendido entre 0,4 y 0,6 teniendo en cuenta varios factores, entre ellos la composición de los desechos.
- Se incluye un factor de oxidación. El valor por defecto de 0,1 se adecua a los vertederos controlados.
- El factor de oxidación debe aplicarse después de haber descontado la cantidad de metano recuperada.

- **Emisiones de metano (Gg/año) =  $[(DSU_T * DSU_F * L_0) - R] * (1 - OX)$**

donde:

$DSU_T$  = total de desechos sólidos urbanos

$DSU_F$  = fracción depositada en VDS

$L_0$  = potencial de generación de metano

R = metano recuperado (Gg/año)

OX = factor de oxidación (fracción)

## Potencial de generación de metano

---

$$L_0 = (\text{FCM} * \text{COD} * \text{COD}_F * F * 16/12 \text{ (Gg de CH}_4\text{/Gg de desechos)})$$

donde:

FCM = factor de corrección para el metano (fracción)

COD = carbono orgánico degradable

COD<sub>F</sub> = fracción de COD no asimilado

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

16/12 = conversión de C a CH<sub>4</sub>



- Inclusión de una fracción de desechos secos en la ecuación
- Consideración de una tasa de generación de desechos (1 kg per cápita al día en los países desarrollados; la mitad en los países en desarrollo)
- Uso del producto interno bruto (PIB) como un indicador de las tasas de producción de desechos

# Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas Enfoque



## Metodologías teóricas de cinética de primer orden (Nivel 2)

---

- El Nivel 2 tiene en cuenta el factor tiempo implicado en la descomposición de la materia orgánica y la generación de metano.
- Factores principales:
  - a) Generación y composición de los desechos
  - b) Variables ambientales (contenido de humedad, pH, temperatura y nutrientes disponibles)
  - c) Edad, tipo y tiempo transcurrido desde el cierre del vertedero



## Ecuación base

---

- $Q_{\text{CH}_4} = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt})$

$Q_{\text{CH}_4}$  = tasa de generación de metano en el año  $t$  ( $\text{m}^3/\text{año}$ )

$L_0$  = carbono orgánico degradable disponible para  
la generación de metano ( $\text{m}^3/\text{tonelada}$  de desechos)

$R$  = cantidad de desechos vertidos (toneladas)

$k$  = valor constante de la tasa de generación de metano ( $\text{año}^{-1}$ )

$c$  = tiempo transcurrido desde el cierre del vertedero (años)

$t$  = tiempo transcurrido desde el inicio del vertido de desechos (años)





## Ecuación de buena práctica

---

- La variable t (tiempo) se sustituye por t-x, 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.
- **Metano generado en el año t (Gg/año) =  $\sum_x [(A \cdot k \cdot DSU_T(x) \cdot DSU_F(x) \cdot L_0(x)) \cdot e^{-k(t-x)}]$**   
para x = desde el año inicial hasta t
- Sumar los resultados obtenidos para todos los años (x).



## Ecuación de buena práctica (cont.)

---

- 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

$MSW_T(x)$  = total de desechos sólidos urbanos (DSU) generados en el año x  
(proporcional a la población total o a la población urbana si no se recogen los desechos rurales)

$L_0(x)$  = potencial de generación de metano



## Valor constante de la tasa de generación de metano

---

- El valor constante de la tasa de generación de metano,  $k$ , representa el tiempo que tarda en descomponerse el COD presente en los desechos hasta quedar reducido a la mitad de su masa inicial («media vida»).
- $k = \ln 2 / t_{1/2}$
- Es preciso contar con datos históricos. Se deben incluir datos correspondientes a entre 3 y 5 medias vidas para alcanzar un resultado con un grado de exactitud aceptable. También deben tomarse en cuenta los cambios en las prácticas de gestión de los desechos.



## Valor constante de la tasa de generación de metano

---

- Está determinado por el tipo de desechos y las condiciones.
- Las mediciones indican valores de entre 0,03 y 0,2 por año, equivalentes a una media vida de entre 23 y 3 años.
- La duración de la media vida es inversamente proporcional a la cantidad de materiales rápidamente degradables y el nivel de humedad.
- Valor por defecto: 0,05 por año, o una media vida de 14 años.



$$L_0(x) = (FCM(x) * COD(x) * COD_F * F * 16/12 \text{ (Gg de CH}_4\text{/Gg de desechos)})$$

donde:

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

COD (x) = carbono orgánico degradable en el año x

COD<sub>F</sub> = fracción de COD no asimilado

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

16/12 = conversión de C a CH<sub>4</sub>

## Metano emitido

---

- Metano generado menos metano recuperado y no oxidado

- Ecuación:

$$\text{Metano emitido durante el año } t \text{ (Gg/año)} = \\ (\text{metano generado durante el año } t \text{ (Gg/año)} - R(t)) * (1 - OX)$$

Donde:

$R(t)$  = metano recuperado durante el año  $t$  (Gg/yr)

$OX$  = factor de oxidación (fracción)



- Base para el método del Nivel 2
- Ya aplicado en:
  - a) Reino Unido
  - b) Países Bajos
  - c) Canadá



## Método de regresión

---

- Se basa en modelos empíricos.
- Se aplica análisis estadístico y de regresión.





- Producción real de metano:
  - a) ¿Se incluyen los vertederos antiguos?
  
- Cantidad y composición de los desechos vertidos:
  - a) ¿Existen datos históricos sobre la composición de los desechos?
  
- Producción real de metano:
  - a) ¿Se conocen bien las prácticas de gestión del vertedero y de los desechos?

## Cálculo de las emisiones procedentes del tratamiento de aguas residuales

---

- Los cálculos relativos a las aguas residuales industriales, domésticas y comerciales se basan en el volumen de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Se recomienda aplicar el factor estándar de conversión de metano (0,22 Gg de CH<sub>4</sub>/Gg de DBO).
- En el caso del óxido nitroso y del metano, se puede basar el cálculo en el total de sólidos volátiles y emplear el método sencillo que se utiliza para el sector agrícola.



## Metano procedente de las aguas residuales domésticas y comerciales

---

- Método simplificado
- Datos:
  - a) DBO en Gg por 1000 personas (valores por defecto)
  - b) Población nacional (expresada en miles)
  - c) Fracción del total de las aguas residuales sometidas a tratamiento anaeróbico (0,1–0,15 por defecto)
  - d) Factor de emisión de metano (0,22 Gg de CH<sub>4</sub>/Gg de DBO por defecto)
  - e) Descuento del metano recuperado



- **Emisión de metano =**  
**población ( $10^3$ ) x Gg de  $\text{DBO}_5$ /1000 personas x fracción sometida a**  
**tratamiento anaeróbico x 0,22 Gg de  $\text{CH}_4$ /Gg de DBO – metano**  
**recuperado**

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

- donde:

WM = emisión anual de metano procedente de aguas residuales domésticas, por país

P = población (nacional o urbana en países en desarrollo)

D = carga orgánica (60 g de DBO/persona/día por defecto)

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

FE = factor de emisión (g de CH<sub>4</sub>/ g de DBO), por defecto =

0,6 o 0,25 g de CH<sub>4</sub>/ g de DQO (demanda química de oxígeno) cuando se use la DQO

FTA = fracción de la DBO que se degrada anaeróbicamente, 0,8 por defecto



- La SBF representa la DBO de los sólidos no disueltos (a los que se atribuye más del 50 % de la DBO). Los tanques de sedimentación eliminan el 33 % de los sólidos y otros métodos, el 50 %.
- La fracción de la DBO de los lodos que se degrada anaeróbicamente (FTA) está relacionada con los procesos, aeróbicos o anaeróbicos. En los procesos aeróbicos y en aquellos en los que los lodos se tratan mediante procedimientos que no producen metano, el valor de la FTA puede ser igual a cero.

## Fundamento del método de examen

---

- El factor de emisión se expresa en DBO, pero la DQO se utiliza para muchos fines.
- La DQO es entre 2 y 2,5 veces mayor que la DBO. Así, los valores por defecto son 0,6 g de CH<sub>4</sub>/ g de DBO o 0,25 g de CH<sub>4</sub>/ g de DQO.
- El factor de emisión se calcula a partir del factor de producción de metano indicado anteriormente y el promedio ponderado de los factores de conversión del metano (FCM).



## Factor de conversión del metano

---

- Las Directrices del IPCC proponen realizar por separado los cálculos relativos a las aguas residuales y los relativos a los lodos. Esto tiene repercusiones para el cálculo por el método detallado.
- No es necesario salvo en el caso de los lodos enviados a vertederos o utilizados en la agricultura.
- Si no se dispone de datos, se puede incorporar el dictamen especializado de ingenieros sanitarios: FCM ponderado = fracción de la DBO que se degradará anaeróbicamente.





## Método detallado

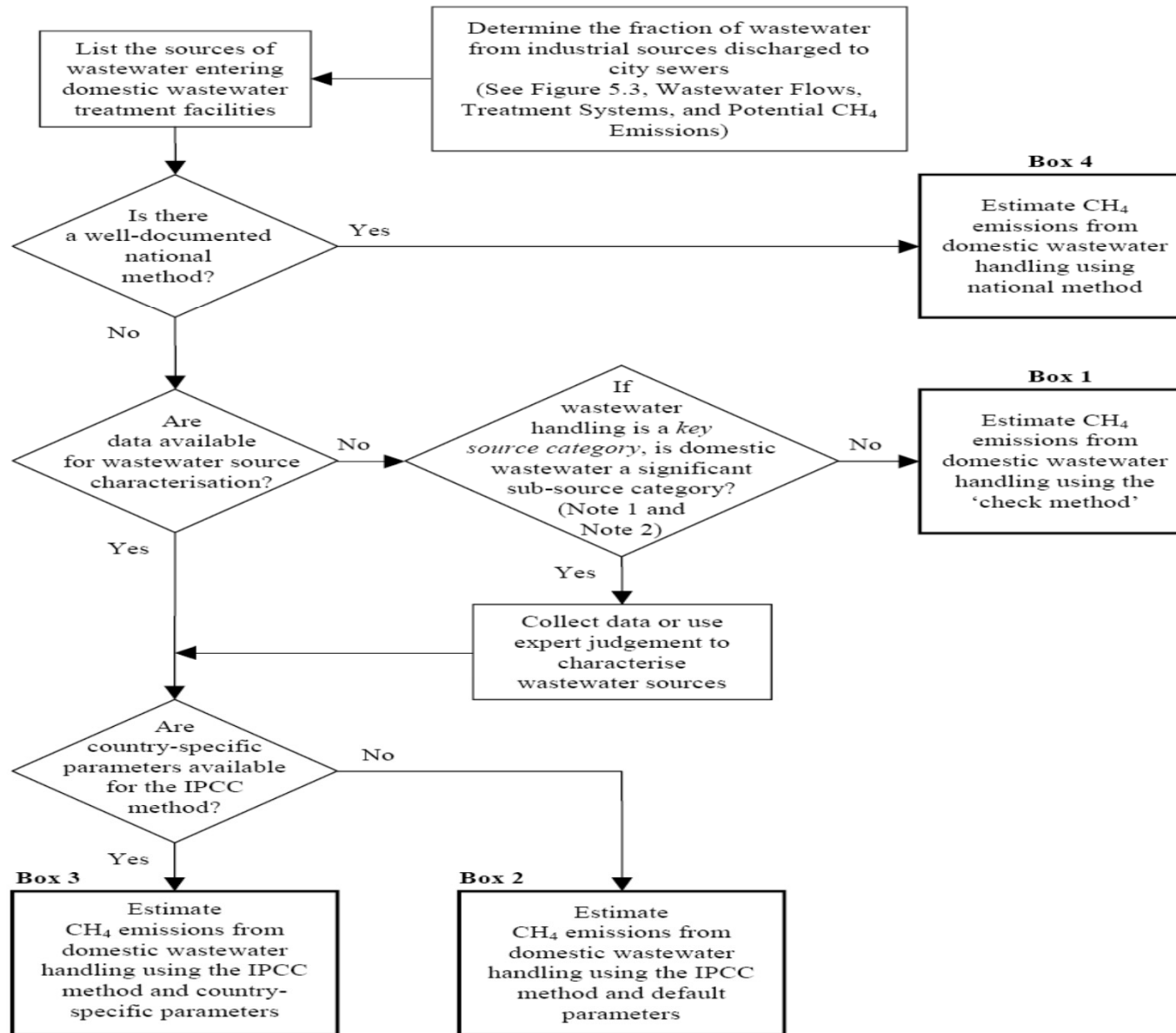
---

- Considera dos factores adicionales:
  - a) los distintos métodos de tratamiento empleados y el total de aguas residuales tratadas mediante cada método; y
  - b) el FCM correspondiente a cada tratamiento.
- El resultado final es la suma de las fracciones calculadas por el método simplificado, menos el metano recuperado.



- **Emisiones procedentes de las aguas residuales domésticas y comerciales =**  
( $\sum_i$  metano calculado por el método simplificado x  
fracción de aguas residuales tratadas mediante el método i x FCM correspondiente  
al método i)  
- metano recuperado

**Figure 5.2 Decision Tree for CH<sub>4</sub> Emissions from Domestic Wastewater Handling**



## Emisiones de metano procedentes de las aguas residuales industriales

---

- Las aguas residuales industriales pueden tratarse in situ o evacuarse hacia los sistemas de alcantarillado domésticos.
- En esta sección solo se hace referencia a los cálculos relativos a las aguas tratadas in situ, el resto debe sumarse a la carga de las aguas residuales domésticas.
- La mayoría de las estimaciones utilizadas se refieren a fuentes puntuales.
- Es necesario centrarse en industrias clave y se proporcionan valores por defecto.



- **Enfoque simplificado:**
  - determinación de industrias relevantes (vino, cerveza, alimentación, papel, etc.)
  - estimación de flujos de aguas residuales (por tonelada de producto o valores por defecto)
  - estimación de la concentración de  $\text{DBO}_5$  (o valores por defecto)
  - estimación de la fracción sometida a tratamiento
  - estimación del factor de emisión de metano (por defecto  $0,22 \text{ Gg de CH}_4/\text{Gg de DBO}$ )
  - descuento del metano recuperado (si lo hay)

- **Emisiones procedentes de las aguas residuales industriales =**  
( $\sum_i$  flujo de aguas residuales por industria (Ml/año) x kg DBO<sub>5</sub>/l  
x fracción de aguas residuales sometidas a tratamiento anaeróbico x 0,22) - metano  
recuperado

- Este método es similar al utilizado para estimar las emisiones de metano procedentes de las aguas residuales domésticas y comerciales.
- Son necesarios los siguientes datos:
  - a) métodos de tratamiento de las aguas residuales
  - b) FCM correspondiente a cada factor

- **Emisiones procedentes de las aguas residuales industriales =**  
( $\sum_i$  flujo de aguas residuales por industria (MI/yr) x kg DBO<sub>5</sub>/l x fracción de aguas residuales tratadas mediante el método i x FCM correspondiente al método i)  
- metano recuperado



## Incertidumbres asociadas a los cálculos

---

- a) Carencia de información sobre volúmenes, tratamientos y reciclaje
- b) Vertido a aguas superficiales:
  - No anaeróbico (50 % por defecto)
  - Anaeróbico (50 % por defecto)
- c) Pozos sépticos (tiempos de retención largos: más de 6 meses)
  - Tiempo de retención de sólidos largo (50 % por defecto)
  - Tiempo de retención de sólidos corto (10 % por defecto)
- d) Pozos abiertos y letrinas (20 % por defecto)
- e) Otras limitaciones: DBO, temperatura, pH y tiempo de retención.



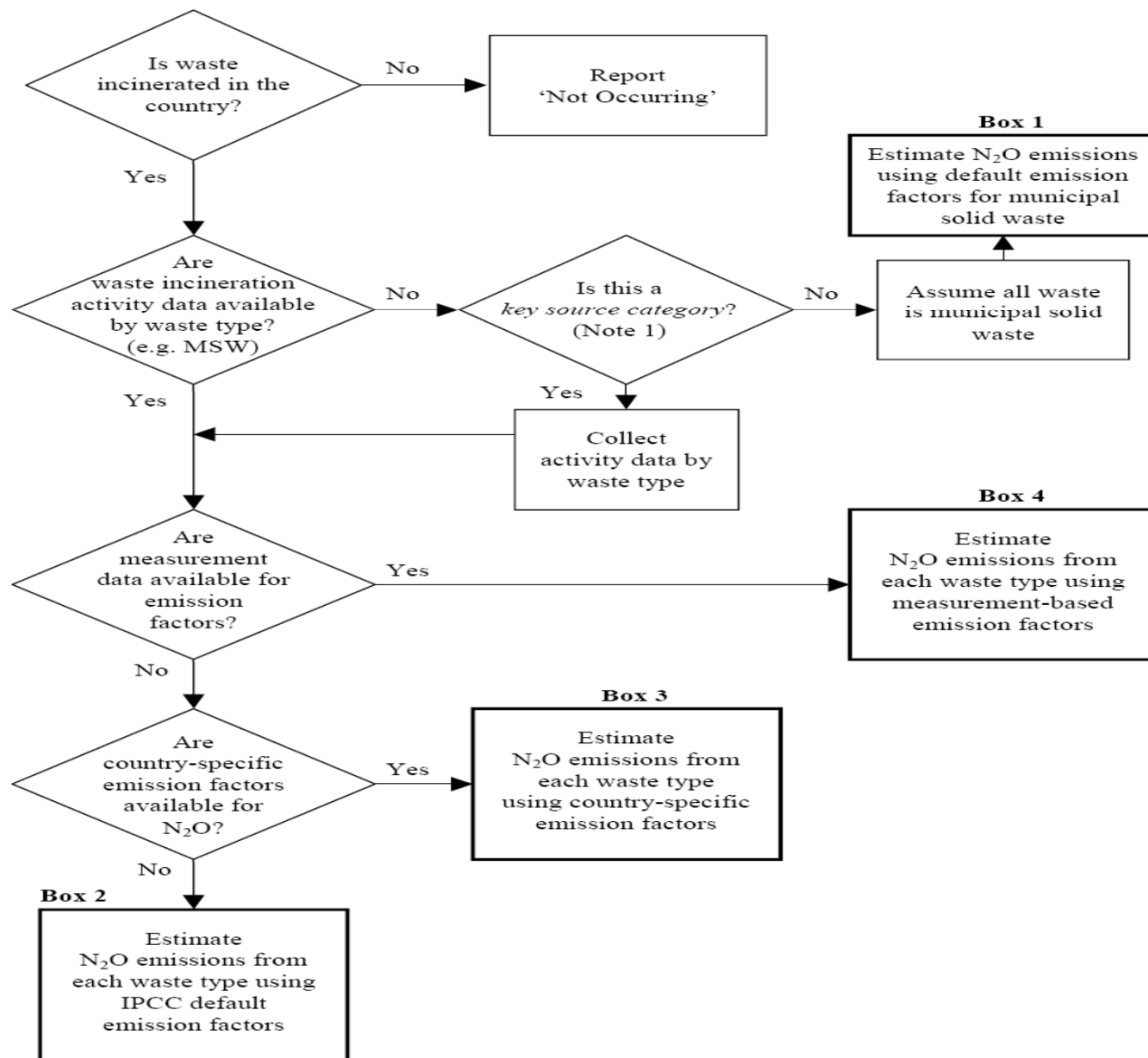
## Emisiones procedentes de la incineración de desechos

---

- En el caso del dióxido de carbono, solo cuenta la fracción fósil, no la asociada a la biomasa.
- Solo se incluyen en el sector de los desechos cuando no hay recuperación de energía.
- En la Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas se presenta un método sencillo:
  - a) Se considera buena práctica distinguir entre los tipos de desechos y tener en cuenta la eficiencia de combustión del incinerador.



**Figure 5.6 Decision Tree for N<sub>2</sub>O Emissions from Waste Incineration**



## Ecuación para el dióxido de carbono

---

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ (Gg/año)} = \sum_i (IW_i * CCW_i * FCF_i * Ef_i * 44/12)$$

donde:

$i$  = DSU, HW, CW, SS

DSU = desechos sólidos urbanos, HW = desechos peligrosos, CW = desechos hospitalarios y SS = lodos de aguas servidas.

$IW_i$  = cantidad de desechos de tipo  $i$  incinerados

$CCW_i$  = fracción de contenido de carbono de los desechos de tipo  $i$

$FCF_i$  = fracción de carbono fósil de los desechos de tipo  $i$

$Ef$  = eficiencia de combustión de los incineradores para los desechos de tipo  $i$   
(fracción)

44/12 = factor de conversión de carbono en  $\text{CO}_2$



## Ecuación para el óxido nitroso

---

**Emisiones de N<sub>2</sub>O (Gg/año) =  $\Sigma_i(IW_i * EF_i) * 10^{-6}$**  donde:

$IW_i$  = cantidad de desechos de tipo i incinerados (Gg/año)

$EF_i$  = factor de emisión agregado para desechos de tipo i, (kg de N<sub>2</sub>O/Gg)

o

**Emisiones de N<sub>2</sub>O (Gg/año) =  $\Sigma_i(IW_i * EC_i * FGV_i) * 10^{-9}$**

$IW_i$  = cantidad de desechos de tipo i incinerados (Gg/año)

$EC_i$  = concentración de la emisión de N<sub>2</sub>O en el gas de combustión proveniente de los desechos de tipo i (mg de N<sub>2</sub>O /Mg)

$FGV_i$  = volumen del gas de combustión por cantidad de desechos de tipo i incinerados (m<sup>3</sup>/Mg)



- a) **El contenido de carbono** varía: lodos de aguas servidas, 30%; desechos sólidos urbanos, 40%; desechos peligrosos, 50%; y desechos hospitalarios, 60%.
- b) Se supone que hay muy poco (prácticamente ningún) **carbono fósil** en los lodos de aguas servidas, 0%; un alto contenido en los desechos hospitalarios y urbanos, 40%; y un contenido muy alto en los desechos peligrosos, 90%.
- c) La **eficiencia de la combustión** es del 95 % en el caso de todos los desechos, excepto en el de los peligrosos (99,5 %).

## Factores de emisión y datos de actividad para el óxido nitroso

---

- Los factores de emisión difieren según el tipo de instalación y el tipo de desechos.
- Se pueden utilizar factores por defecto.
- Resulta difícil mantener la coherencia y realizar comparaciones debido a la heterogeneidad de los tipos de desechos en los distintos países.



- Se considera **buena práctica** documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones de inventario nacionales.
- Véase la OBP2000, capítulo 8, Garantía de la calidad y control de calidad, sección 8.10.1, Documentación interna y archivo.
- Resultan fundamentales la transparencia de los datos de actividad y la posibilidad de revisar los cálculos.



- **La transparencia** puede mejorarse aportando documentación y explicaciones claras:
  - a) estimaciones mediante diferentes métodos
  - b) cotejo de factores de emisiones
  - c) verificación de los valores por defecto, los datos de sondeos y la preparación de datos secundarios para los datos de actividad
  - d) cotejo con otros países
- Participación de expertos de las industrias y los gobiernos en los procesos de revisión

- a) Si se aplica el Nivel 2, deben documentarse los datos históricos y los valores de  $k$  y deben tomarse en consideración los vertederos cerrados.
- b) Debe documentarse la distribución de los desechos (gestionados y no gestionados) con el fin de determinar el FCM.
- c) Se recomienda exhaustividad en cuanto a la cobertura de vertederos (de desechos industriales, de lodos y de restos de materiales de construcción y demolición).

- a) Si se presenta información sobre recuperación de metano, es conveniente incluir un inventario. Las actividades de quema en antorcha y de recuperación de energía deben documentarse por separado.
- b) Deben explicarse los cambios ocurridos en los parámetros e indicarse las referencias utilizadas.
- c) En el caso de las series temporales, debe aplicarse el mismo método a lo largo de la serie. Si hay cambios, debe recalcularse la totalidad de la serie temporal a fin de asegurar que las tendencias sean coherentes (véase la OBP2000, capítulo 7, sección 7.3.2.2, Otras técnicas para hacer nuevos cálculos).

## Generación de informes sobre el metano procedente del tratamiento de las aguas residuales domésticas

---

- Función de la población humana y la generación de desechos por cada persona, expresados en términos de demanda bioquímica de oxígeno
- Suponiendo que en las zonas rurales los desechos se degradan aeróbicamente, se considera buena práctica considerar solo la población urbana.
- $DQO * 2,5 = DBO$
- Se debe recalcular la totalidad de la serie temporal.
- El procedimiento de cálculo debe poder revisarse (en particular si se han producido cambios en los FCM).



## Generación de informes sobre el metano procedente del tratamiento de las aguas residuales industriales (cont.)

---

- a) Las estimaciones industriales se aceptan si son transparentes y conformes con la GC/CC.
- b) Los nuevos cálculos tienen que ser coherentes a lo largo del tiempo.
- c) Los datos por defecto sobre las aguas residuales industriales se presentan en la OBP2000, capítulo 5, cuadro 5.4.
- d) En aras de la transparencia, se necesitan cuadros sectoriales y un informe detallado sobre el inventario.



## Generación de informes sobre el óxido nitroso procedente del tratamiento de las aguas residuales

---

- Se basa en las Directrices del IPCC revisadas en 1996, capítulo 4, Agricultura, sección 4.8, Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura.
- Es necesario continuar trabajando en el desarrollo de los datos, métodos y cálculos.



- Debe incluirse toda la incineración de desechos.
- Debe evitarse la contabilización por partida doble cuando haya recuperación de energía, incluido el uso de desechos como combustible (por ejemplo, para la producción de cemento y ladrillos).
- Los rangos de las estimaciones de emisiones se presentan en la OBP2000, capítulo 5, cuadros 5.6 y 5.7.
- El combustible de apoyo (normalmente poco) debe declararse en el sector de la energía. Puede ser más importante en el caso de los desechos peligrosos.

## Comparación entre las Directrices del IPCC revisadas en 1996 y la Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas

Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas	Directrices del IPCC revisadas en 1996 - método por defecto
Método de descomposición de primer orden para los vertederos de desechos sólidos basado en condiciones reales de descomposición	Basado en los desechos depositados en vertederos el año precedente. Aproximación razonable solo en condiciones estables a largo plazo. Se menciona el método de primer orden sin cálculos específicos.
Se incluye un «método de examen» para países con dificultades para calcular las emisiones procedentes del tratamiento de aguas residuales domésticas.	Mantiene una separación entre: <ul style="list-style-type: none"> <li>• aguas residuales domésticas</li> <li>• aguas residuales industriales</li> </ul>
Se señalan las aguas residuales generadas por el hombre como un área que requiere más desarrollo y no se presentan mejoras respecto de las Directrices del IPCC.	Cálculo realizado sobre la base de una aproximación desarrollada para el sector de la agricultura (véase el capítulo relativo al sector de la agricultura)
La nueva sección sobre las emisiones procedentes de la incineración de desechos cubre: <ul style="list-style-type: none"> <li>• las emisiones de CO<sub>2</sub></li> <li>• las emisiones de N<sub>2</sub>O</li> </ul>	No incluye metodologías detalladas.





## Comparación de los datos de actividad básicos requeridos

Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas	Directrices del IPCC revisadas en 1996
<ul style="list-style-type: none"><li>• Actividad de vertido de desechos sólidos durante varios años</li><li>• Menos requisitos con el método de examen para las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes de las aguas residuales domésticas</li><li>• Variación del método de arriba hacia abajo de las Directrices del IPCC recomendada debido a los elevados costos</li><li>• Cantidades incineradas, composición (contenido de carbono y fracción de carbono fósil) requeridos para el CO<sub>2</sub></li><li>• Medición de emisiones recomendada para el N<sub>2</sub>O</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Actividad de vertido del año en curso, valores por defecto o método per cápita</li><li>• Datos sobre los flujos de aguas residuales y el tratamiento de las aguas residuales requeridos</li><li>• Datos muy detallados específicos de cada industria requeridos</li><li>• Ninguna metodología específica</li></ul>



**La mayoría de los factores de emisión son comunes a las Directrices del IPCC y a la OBP2000:**

- a) Potencial de generación de metano en VDS
- b) Factor de conversión de las aguas residuales generadas por el hombre
- c) Factor de conversión del metano.

**Nuevos factores de emisión relativos a:**

- a) Nivel 2 para VDS, en particular el valor k
- b) Incineración de desechos (carencia de algunos valores clave)

- En la OBP2000 se utilizan los mismos cuadros que en las Directrices del IPCC, relativos a las mismas categorías.

## Problemas abordados

---

- Problemas detectados por expertos de países NAI en la aplicación de las Directrices del IPCC
- Divididos en las siguientes categorías:
  - a) cuestiones metodológicas
  - b) datos de actividad
  - c) factores de emisión
- La OBP2000 subsana alguna de las deficiencias detectadas en las Directrices del IPCC:
  - a) estrategias de mejora de la metodología, los datos de actividad y los factores de emisión
  - b) estrategia relativa a los datos de actividad y los factores de emisión – método de niveles
  - c) fuentes de datos para los datos de actividad y los factores de emisión, incluida la BDFE



### **Metodologías no incluidas:**

- a) dispersión de lodos y compostaje
- b) quema en condiciones no contempladas específicamente en la sección relativa a la incineración de desechos
- c) condiciones tropicales en muchas Partes NAI para la generación de metano
- d) uso de vertederos con controlados en lugar de vertederos controlados
- e) carencia de un método de cálculo adecuado para las aguas residuales generadas por el hombre en el caso de países insulares o de países con población fundamentalmente costera y complejidad de la metodología

## Falta de cobertura de metodologías para desechos que reflejan las circunstancias nacionales

---

<b>Método de la OBP2000</b>	<b>Propuesta de mejora</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- La OBP2000 no incluye el compostaje y la dispersión de lodos, que son prácticas comunes en los países NAI.</li><li>- La quema y los procesos de vertido no controlado no se tratan suficientemente en la OBP2000 y son prácticas frecuentes en los países NAI.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Promover estudios sobre el terreno para producir metodologías o aplicación de métodos propuestos por los países del anexo I para estas categorías.</li><li>- Ampliar las secciones pertinentes a fin de reflejar las condiciones prevalentes en muchos países NAI.</li></ul>



## Deficiencias adicionales de las metodologías

---

<b>Método de la OBP2000</b>	<b>Propuesta de mejora</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- La OBP2000 no refleja las condiciones de los países tropicales ni sus prácticas de gestión de desechos sólidos y aguas residuales.</li><li>- La aproximación empleada en la OBP2000 para el cálculo del óxido nitroso de las aguas residuales generadas por el hombre (la misma que en las Directrices del IPCC) no refleja de manera adecuada la situación de las áreas costeras e insulares.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Promover estudios sobre el terreno para ampliar el alcance de la metodología.</li><li>- Adoptar las metodologías propuestas en el capítulo relativo a la agricultura teniendo en cuenta las distintas realidades geográficas.</li></ul>



## Complejidad de la metodología

---

<b>Método de la OBP2000</b>	<b>Propuesta de mejora</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Las metodologías presentadas para el vertido de desechos sólidos y la incineración de desechos requieren datos que no suelen estar disponibles en los países NAI.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- En aras de la exhaustividad de los informes, deberían proponerse métodos similares al método de examen para las aguas residuales.</li></ul>





## Problemas relacionados con los datos de actividad

---

- Datos insuficientes sobre los desechos sólidos generados
- Falta de datos sobre generación de desechos relativos a series temporales
- Falta de datos desglosados
- Datos insuficientes sobre la composición de los desechos sólidos
- Datos insuficientes sobre las condiciones de oxidación
- Extrapolaciones basadas en datos históricos empleados en la aplicación del Nivel 2 a la generación de CH<sub>4</sub> en los vertederos de desechos sólidos
- Poca fiabilidad y elevada incertidumbre de los datos



## Problemas relacionados con los factores de emisión

---

- Valores por defecto inadecuados en las Directrices del IPCC
- Datos por defecto no adaptados a las circunstancias nacionales
- Falta de factores de emisión desglosados
- No disposición de factores de conversión del metano en algunas regiones NAI
- Poca fiabilidad y elevada incertidumbre de los datos
- Falta de factores de emisión relativos a la incineración de desechos en las Directrices del IPCC (incluidos en la OBP2000)
- Normalmente valor superior de los datos por defecto, lo que conduce a la sobrestimación



# Lista de problemas, por categoría



**Cuestiones metodológicas:**

- a) Uso de vertederos no controlados o incineración abierta
- b) Reciclaje, normalmente de madera y papel, pero también de desechos orgánicos

## Datos de actividad y factores de emisión

---

- Faltan datos de actividad, tanto actuales como relativos a las series temporales requeridas, sobre los flujos de desechos y su composición.
- Solo se dispone de datos de actividad por defecto para 10 países NAI.
- Los valores del parámetro  $k$  para la aplicación del método de descomposición de primer orden no reflejan las condiciones de temperatura y humedad tropicales. El mayor valor de  $k$  en la OBP2000 es 0,2 y en las Directrices del IPCC es 0,4.
- Los factores de corrección para el metano propuestos pueden conducir a sobrestimaciones, incluso en el caso del valor más bajo, debido a la poca profundidad y a la práctica frecuente de la quema como tratamiento previo en los vertederos.



### Cuestiones metodológicas

- La OBP2000 presenta un método simplificado para el cálculo de las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes del tratamiento de las aguas residuales domésticas, denominado «método de examen», que permite evitar la complejidad de las Directrices del IPCC.
- En los países NAI, es posible que los métodos o parámetros nacionales, o incluso los datos de actividad, no estén siempre disponibles.
- Con respecto al cálculo de las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes del tratamiento de las aguas residuales industriales, la OBP2000 presenta una «mejor práctica» para casos en los que estas emisiones constituyen una fuente clave, en la que recomienda seleccionar 3 o 4 industrias principales.
- En cuanto a las emisiones de N<sub>2</sub>O procedentes de las aguas residuales generadas por el hombre, la OBP2000 no plantea mejoras con respecto a las Directrices del IPCC. Esta metodología presenta varias limitaciones que han llevado a diversos países NAI a declararla «no aplicable».

## Datos de actividad y factores de emisión

---

- La mayoría de los países NAI no disponen de datos de actividad y factores de emisión respecto de las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes de las aguas residuales domésticas. El «método de examen» puede ayudar a resolver este problema. En cualquier caso, la OBP2000 supone una mejora ya que señala fuentes potenciales de emisiones de CH<sub>4</sub>.
- Para el cálculo de las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes de las aguas residuales industriales, en los casos en que sea una fuente esencial, es posible contabilizar únicamente las industrias más importantes.
- En el caso de las emisiones de N<sub>2</sub>O procedentes de las aguas residuales generadas por el hombre, los datos de actividad necesarios para el cálculo son relativamente sencillos y fáciles de obtener.



### **Cuestiones metodológicas**

- Esta categoría de fuente solo se presentaba brevemente en las Directrices del IPCC, pero se desarrolla en detalle en la OBP2000.
- En los países NAI, no es frecuente la incineración de desechos (salvo los hospitalarios) debido a los elevados costos.
- Se distingue entre el CO<sub>2</sub> y el N<sub>2</sub>O porque el primero se calcula aplicando el método del equilibrio de masas y el segundo depende de las condiciones de funcionamiento.



## Datos de actividad y factores de emisión

---

- En la OBP2000 se reconoce la dificultad de encontrar datos de actividad que permitan distinguir las cuatro categorías propuestas (desechos urbanos, peligrosos, hospitalarios y lodos de aguas servidas).
- Se recomienda no solicitar diferenciación si no se dispone de datos en el caso de las categorías de fuentes no esenciales.



**El método de buenas prácticas requiere que las estimaciones de los inventarios de GEI sean precisas.**

- a) No deberían entrañar sobrestimación ni subestimación, en la medida en que se pueda juzgar.*

**Entre las causas de la incertidumbre se pueden señalar:**

- a) uso de fuentes no identificadas*
- b) carencia de datos*
- c) calidad insuficiente de los datos*
- d) falta de transparencia*

- **Fuentes de incertidumbre principales:**
  - datos de actividad (total de desechos sólidos urbanos  $DSU_T$  y fracción depositada en vertederos  $DSU_F$ )
  - factores de emisión (constante de la tasa de generación de metano)
- **Otros factores enumerados en la OBP2000, cuadro 5.2:**
  - carbono orgánico degradable, fracción de carbono orgánico degradable, factor de corrección para el metano, fracción de metano presente en el gas de vertedero
  - posiblemente también recuperación de metano y factor de oxidación

- La incertidumbre está asociada a la DBO/persona, la capacidad máxima de producción de metano y la fracción sometida a tratamiento anaeróbico (los datos sobre la población humana entrañan poca incertidumbre ( $\pm 5\%$ )).
- Rangos por defecto:
  - a) DBO/persona y capacidad máxima de producción de metano ( $\pm 30\%$ )
- En el caso de la fracción sometida a tratamiento anaeróbico, debe determinarse mediante el dictamen de expertos.

- La incertidumbre está asociada a la producción industrial, la DQO/unidad de aguas residuales (entre -50 % y +100 %), la capacidad máxima de producción de metano y la fracción sometida a tratamiento anaeróbico.
- Rangos por defecto:
  - a) producción industrial ( $\pm 25$  %)
  - b) capacidad máxima de producción de metano ( $\pm 30$  %).
- En el caso de la fracción sometida a tratamiento anaeróbico, debe determinarse mediante el dictamen de expertos.

## Presentación de las incertidumbres asociadas a la incineración de desechos

---

- Se estima que la incertidumbre de los datos de actividad relacionados con el volumen de desechos incinerados es baja ( $\pm 5\%$ ) en los países desarrollados. Podría ser mayor en el caso de algunos desechos, como los hospitalarios.
- La principal incertidumbre con respecto al  $\text{CO}_2$  es la estimación de la fracción de carbono fósil.
- En el caso de los valores por defecto del  $\text{N}_2\text{O}$ , la incertidumbre puede alcanzar hasta el 100 %.



Gracias

