

# **CAPÍTULO 4**

---

## **TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS**

## **Autores**

Riitta Pipatti (Finlandia)

Joao Wagner Silva Alves (Brasil), Qingxian Gao (China), Carlos López Cabrera (Cuba), Katarina Mareckova (República Eslovaca), Hans Oonk (Países Bajos), Elizabeth Scheehle (Estados Unidos), Chhemendra Sharma (India), Alison Smith (Reino Unido), Per Svardal (Noruega), y Masato Yamada (Japón)

## Índice

4	Tratamiento biológico de los desechos sólidos	
4.1	Cuestiones metodológicas.....	4
4.1.1	Elección del método.....	5
4.1.2	Elección de los datos de la actividad.....	6
4.1.3	Elección de los factores de emisión .....	6
4.2	Exhaustividad .....	7
4.3	Desarrollo de una serie temporal coherente.....	7
4.4	Evaluación de incertidumbre .....	8
4.5	GC/CC .....	8
4.6	Generación de informes y documentación.....	8
	Referencias .....	9

## Ecuaciones

Ecuación 4.1	Emisiones de CH <sub>4</sub> provenientes del tratamiento biológico .....	5
Ecuación 4.2	Emisiones de N <sub>2</sub> O provenientes del tratamiento biológico .....	6

## Cuadros

Cuadro 4.1	Factores de emisión por defecto para las emisiones de CH <sub>4</sub> and N <sub>2</sub> O procedentes del tratamiento biológico de los desechos.....	7
------------	---	---

## 4 TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LOS DESECHOS SÓLIDOS

### 4.1 CUESTIONES METODOLÓGICAS

La fabricación de abono orgánico (*compost*) y la digestión anaeróbica de los desechos orgánicos, como los desechos de alimentos, de jardines y parques y de lodos de aguas residuales, es corriente tanto en los países desarrollados como en los en desarrollo. Entre las ventajas del tratamiento biológico se incluye: el volumen reducido de los materiales de desecho, la estabilización de los desechos, la destrucción de los agentes patógenos en el material de desecho y la producción de biogás para utilización energética. Los productos finales del tratamiento biológico pueden reciclarse, según su calidad, como fertilizantes y abono de suelos, o bien, eliminarse en lo SEDS.

El tratamiento anaeróbico suele vincularse con la recuperación de metano ( $\text{CH}_4$ ) y la combustión energética y, por lo tanto, las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del proceso deben declararse en el Sector Energía. El tratamiento anaeróbico de los lodos en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales se aborda en el Capítulo 6, Tratamiento y eliminación de aguas residuales, y las emisiones deben declararse bajo las categorías de Aguas residuales. Sin embargo, cuando el lodo del tratamiento de aguas residuales se transfiere a una instalación anaeróbica que digiere lodos conjuntamente con desechos sólidos municipales u otros desechos, toda emisión relacionada de  $\text{CH}_4$  y de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) debe declararse bajo esta categoría, Tratamiento biológico de los desechos sólidos. Cuando estos gases se usen para producir energía, entonces las emisiones asociadas deben declararse en el Sector Energía.

La fabricación de abono orgánico (*compost*) es un proceso aeróbico y una fracción grande del carbono orgánico degradable (DOC) de los materiales de desecho se convierte en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El  $\text{CH}_4$  se forma en las secciones anaeróbicas del abono orgánico (*compost*), pero una gran proporción se oxida en las secciones aeróbicas del abono. El  $\text{CH}_4$  estimado que se libera hacia la atmósfera varía entre menos del 1 por ciento y unos pocos por cientos del contenido de carbono inicial del material (Beck-Friis, 2001; Detzel *et al.*, 2003; Arnold, 2005).

La fabricación de abono orgánico puede producir también emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ . El intervalo de las emisiones estimadas varía desde menos del 0,5 por ciento hasta un 5 por ciento del contenido inicial de nitrógeno del material (Petersen *et al.*, 1998; Hellebrand 1998; Vesterinen, 1996; Beck-Friis, 2001; Detzel *et al.*, 2003). Los abonos orgánicos de baja calidad tienden a producir más  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  (p. ej., Vesterinen, 1996).

La **digestión anaeróbica de los desechos orgánicos** acelera la descomposición natural del material orgánico en ausencia de oxígeno si la temperatura, el contenido de humedad y el pH se mantienen cercanos a los valores óptimos. El  $\text{CH}_4$  generado puede usarse para producir calor y/o electricidad, por lo cual la declaración de las emisiones del proceso se realiza generalmente en el Sector Energía. Las emisiones de  $\text{CO}_2$  son de origen biogénico y deben declararse sólo como elemento informativo en el Sector Energía. Las emisiones de  $\text{CH}_4$  causadas por fugas no intencionales desde estas instalaciones, durante las perturbaciones del proceso u otros incidentes imprevistos, suelen situarse entre 0 y 10 por ciento de la cantidad de  $\text{CH}_4$  generado. Ante la ausencia de información adicional, se puede utilizar un valor por defecto de 5 por ciento para las emisiones de  $\text{CH}_4$ . Cuando los estándares técnicos de las plantas de biogás garantizan que las emisiones no intencionales de  $\text{CH}_4$  se queman en la antorcha, es esperable que las emisiones de  $\text{CH}_4$  sean próximas a cero. Se supone que las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  procedentes del proceso son insignificantes, aunque los datos sobre estas emisiones son muy escasos.

El **tratamiento mecánico y biológico de los desechos (MB)** comienza a popularizarse en Europa. En el tratamiento MB, el material de desecho se somete a una serie de operaciones mecánicas y biológicas cuyo objetivo es reducir el volumen de los desechos, así como estabilizarlo para reducir las emisiones provenientes de la eliminación final. Las operaciones varían según la aplicación. Típicamente, las operaciones mecánicas separan el material de desechos en fracciones que serán sometidas a tratamientos adicionales (preparación de abono orgánico, digestión anaeróbica, combustión, reciclado). Éstas pueden incluir la separación, el desmenuzamiento y la trituración del material. Las operaciones biológicas incluyen la preparación de abono orgánico y la digestión anaeróbica. La preparación de abono orgánico puede realizarse en pilas o en instalaciones de preparación de abono orgánico que optimizan las condiciones del proceso al mismo tiempo que filtran el gas producido. Las posibilidades de reducir la cantidad de material orgánico que se eliminan en los vertederos son grandes, del 40 al 60 por ciento (Kaarinen, 2004). Debido a la reducida cantidad de material, de contenido orgánico y de actividad biológica, los desechos tratados por MB producen hasta un 95 por ciento menos de  $\text{CH}_4$  que los desechos no tratados cuando se eliminan en los SEDS. En la práctica, las reducciones han sido menores y dependen del tipo y la duración de los tratamientos MB en particular (véase, p. ej., Binner, 2002). Las emisiones de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$

producidas durante las diferentes fases del tratamiento MB dependen de las operaciones específicas y de la duración del tratamiento biológico.

En general, el tratamiento biológico de los desechos afecta la cantidad y la composición de los desechos que se depositan en los SEDS. Los análisis de la corriente de desechos (véase el ejemplo del Recuadro 3.1) son las metodologías recomendadas para estimar el impacto del tratamiento biológico en las emisiones procedentes de los SEDS.

La estimación de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes del tratamiento biológico de los desechos sólidos involucra los siguientes pasos:

- Paso 1:** recopilar datos sobre la cantidad y el tipo de desechos sólidos que se tratan biológicamente. Los datos sobre la preparación de abono orgánico y sobre el tratamiento anaeróbico deben recopilarse por separado, en lo posible. Los datos regionales por defecto sobre la preparación de abono orgánico se proporcionan en el Cuadro 2.1 del Capítulo 2, y los datos específicos del país pueden encontrarse, para algunos países, en el Anexo 2A.1 de este Volumen. Si no se dispone de datos, la digestión anaeróbica de los desechos sólidos puede suponerse nula. Los datos por defecto deben utilizarse sólo cuando no se disponga de datos específicos del país (véase también la Sección 4.1.2).
- Paso 2:** estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes del tratamiento biológico de los desechos sólidos utilizando las Ecuaciones 4.1 y 4.2. Usar los factores de emisión por defecto o específicos del país según la orientación brindada en las Secciones 4.1.1, 4.1.2 y 4.1.3.
- Paso 3:** restar la cantidad de gas recuperado de la cantidad de CH<sub>4</sub> generado, para estimar las emisiones netas anuales de CH<sub>4</sub>, cuando se recuperan las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes de la digestión anaeróbica.

Debe verificarse la coherencia entre las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes de la preparación de abono orgánico y del tratamiento anaeróbico de los lodos y las emisiones procedentes del tratamiento de los lodos declaradas en la categoría Tratamiento y eliminación de aguas residuales. Por igual, si las emisiones procedentes de la digestión anaeróbica se declaran bajo Tratamiento biológico de los desechos sólidos, los compiladores del inventario deben verificar que estas emisiones no se incluyan en el Sector Energía.

La información pertinente relacionada con la recopilación de datos de la actividad, la elección del factor de emisión y el método utilizado para estimar las emisiones debe documentarse según la orientación provista en la Sección 4.6.

### 4.1.1 Elección del método

Las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes del tratamiento biológico pueden estimarse utilizando el método por defecto proporcionado por las Ecuaciones 4.1 y 4.2 que se presentan a continuación:

**ECUACIÓN 4.1**  
**EMISIONES DE CH<sub>4</sub> PROVENIENTES DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO**

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3} - R$$

Donde:

- Emisiones de CH<sub>4</sub> = total de las emisiones de CH<sub>4</sub> durante el año del inventario, Gg de CH<sub>4</sub>
- M<sub>i</sub> = masa de los desechos orgánicos sometidos al tratamiento biológico *i*, Gg
- EF<sub>i</sub> = factor de emisión del tratamiento *i*, g de CH<sub>4</sub>/kg. de desechos tratados
- i* = preparación de abono orgánico o digestión anaeróbica
- R = cantidad total de CH<sub>4</sub> recuperado durante el año del inventario, Gg de CH<sub>4</sub>

Al declarar las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de la digestión anaeróbica, la cantidad de gas recuperado debe restarse de la cantidad de CH<sub>4</sub> generado. El gas recuperado puede quemarse en antorcha o en un dispositivo energético. La cantidad de CH<sub>4</sub> que se recupera se expresa en la Ecuación 4.1 como R. Si el gas recuperado se utiliza para generar energía, las emisiones de gas de efecto invernadero que resultan de la combustión del gas deben declararse bajo el Sector Energía. Sin embargo, las emisiones provenientes de la quema del gas

recuperado no son significativas, pues las emisiones de CO<sub>2</sub> son de origen biogénico y las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O son muy pequeñas, de modo que la *buena práctica* no exige su estimación. Aunque, si se desea estimar tales emisiones, las de la quema en antorcha deben declararse en el Sector Desechos. En el Volumen 2, Energía, Capítulo 4.2, se presenta un análisis de las emisiones procedentes de la quema en antorcha y otra información más detallada. Las emisiones provenientes de la quema en antorcha no son tratadas en el Nivel 1.

**ECUACIÓN 4.2**  
**EMISIONES DE N<sub>2</sub>O PROVENIENTES DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO**

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3}$$

Donde:

Emisiones de N<sub>2</sub>O = total de las emisiones de N<sub>2</sub>O durante el año del inventario, Gg de N<sub>2</sub>O

M<sub>i</sub> = masa de los desechos orgánicos sometidos al tratamiento biológico *i*, Gg

EF<sub>i</sub> = factor de emisión del tratamiento *i*, g de N<sub>2</sub>O/kg. de desechos tratados

*i* = preparación de abono orgánico o digestión anaeróbica

A continuación se resumen los tres niveles para esta categoría.

**Nivel 1:** el Nivel 1 utiliza los factores de emisión por defecto del IPCC.

**Nivel 2:** para el Nivel 2 se utilizan los factores de emisión específicos del país basados en mediciones representativas.

**Nivel 3:** los métodos de Nivel 3 se basan en mediciones hechas en las instalaciones o específicas del sitio (continuas o periódicas).

## 4.1.2 Elección de los datos de la actividad

Los datos de la actividad relativos al tratamiento biológico pueden basarse en las estadísticas nacionales. Los datos sobre tratamiento biológico pueden recopilarse a través de las autoridades municipales o regionales que son responsables de la gestión de los desechos o a través de las compañías de gestión de desechos. En el Cuadro 2.1 del Capítulo 2, Datos de generación, composición y gestión de desechos, se proporcionan valores por defecto regionales sobre el tratamiento biológico. En el Anexo 2A.1 de este volumen se pueden consultar los valores por defecto específicos de algunos países. Estos datos se pueden utilizar como punto de partida. Es una *buena práctica* que los países utilicen los datos nacionales recopilados anualmente o de manera periódica, cuando estén disponibles.

## 4.1.3 Elección de los factores de emisión

### 4.1.3.1 NIVEL 1

Las emisiones provenientes de la preparación de abono orgánico y de la digestión anaeróbica en las instalaciones de biogás dependen de factores tales como el tipo de desecho tratado, la cantidad y el tipo del material de soporte utilizado (como las astillas de madera (chips) y la turba), la temperatura, el contenido de humedad y la aeración durante el proceso.

En el Cuadro 4.1 se proporcionan valores por defecto del Nivel 1 para las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes del tratamiento biológico.

CUADRO 4.1 FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LAS EMISIONES DE CH <sub>4</sub> AND N <sub>2</sub> O PROCEDENTES DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LOS DESECHOS					
Tipo de tratamiento biológico	Factores de emisión de CH <sub>4</sub> (g de CH <sub>4</sub> /kg. de desechos tratados)		Factores de emisión de N <sub>2</sub> O (g de N <sub>2</sub> O/kg. de desechos tratados)		Comentarios
	sobre la base de peso en seco	sobre la base de peso húmedo	sobre la base de peso en seco	sobre la base de peso húmedo	
Preparación de abono orgánico ( <i>compost</i> )	10 (0,08 - 20)	4 (0,03 - 8)	0,6 (0,2 - 1,6)	0,3 (0,06 - 0,6)	Hipótesis sobre los desechos tratados: 25-50% DOC en la materia seca, 2% N en la materia seca, contenido de humedad 60%.
Digestión anaeróbica en las instalaciones de biogás	2 (0 - 20)	1 (0 - 8)	Se supone insignificante	Se supone insignificante	Los factores de emisión para los desechos secos se estiman a partir de los factores para desechos húmedos bajo la hipótesis de un 60% de humedad en los desechos húmedos.
Fuentes: Arnold, M. (2005) comunicación personal; Beck-Friis (2002); Detzel <i>et al.</i> (2003); Petersen <i>et al.</i> 1998; Hellebrand 1998; Hogg, D. (2002); Vesterinen (1996).					

Las emisiones provenientes del tratamiento MB pueden estimarse utilizando los valores por defecto del Cuadro 4.1 para el tratamiento biológico. Se puede suponer que las emisiones producidas durante las operaciones mecánicas son insignificantes.

#### 4.1.3.2 NIVEL 2 Y NIVEL 3

En el Nivel 2, los factores de emisión deben basarse en mediciones representativas que cubran las opciones pertinentes de tratamiento biológico aplicadas en el país. En el Nivel 3, los factores de emisión se basan en mediciones específicas del sitio o de la planta (continuas o periódicas).

## 4.2 EXHAUSTIVIDAD

Las declaraciones sobre las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O provenientes del tratamiento biológico, cuando existen, complementan las declaraciones sobre las emisiones provenientes de los SEDS y de la incineración de desechos y contribuyen a la cobertura exhaustiva de todas las fuentes del Sector Desechos. Esto posee una importancia particular en los países en los que el tratamiento biológico es, o comienza a ser, significativo.

## 4.3 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Dado que la orientación metodológica para estimar y declarar las emisiones provenientes del tratamiento biológico no se incluyó en las anteriores *Directrices del IPCC*, se recomienda que se estime toda la serie temporal utilizando la misma metodología. Puede ser que los datos de la actividad para los años anteriores no estén disponibles en todos los países. Por igual, puede suceder que los datos actuales sobre el tratamiento biológico no se recopilen de manera anual. Los métodos para obtener los datos faltantes se describen en el Volumen 1, Capítulo 5, Coherencia de la serie temporal.

Los factores de emisión por defecto se basan en una cantidad limitada de estudios. Se espera que la disponibilidad de los datos mejore en los próximos años. Es una *buena práctica* utilizar la información científica actualizada disponible para mejorar los factores de emisión. Entonces, las estimaciones para toda la serie temporal deben recalcularse en consecuencia.

## 4.4 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

La incertidumbre en los datos de la actividad depende de cómo se recopilan los datos. Las estimaciones de incertidumbre para la generación de desechos y para la fracción de desechos que se trata biológicamente puede estimarse de la misma manera que los DSM eliminados en los SEDS (véase el Cuadro 3.5). Las incertidumbres dependen de la calidad de la recopilación de datos efectuada en el país.

Las incertidumbres en los factores de emisión por defecto pueden estimarse utilizando los intervalos propuestos en el Cuadro 4.1. Las incertidumbres en los factores de emisión específicos del país dependen del diseño del muestreo y de las técnicas de medición utilizadas para determinar los factores de emisión.

## 4.5 GC/CC

Los requerimientos de la GC/CC abordados en la Sección 3.8 del Capítulo 3, Eliminación de desechos sólidos, se aplican también al tratamiento biológico de los desechos.

## 4.6 GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir el inventario de emisiones nacionales de gases de efecto invernadero, como se plantea en la Sección 6.11 del Capítulo 6, GC/CC y verificación, del Volumen 1 de estas *Directrices*. En los párrafos siguientes se esbozan algunos ejemplos de documentación específica y de generación de informes pertinentes para esta categoría.

- Las fuentes de los datos de la actividad deben describirse y referenciarse. Debe proporcionarse la información sobre la frecuencia y la cobertura de la recopilación (p. ej., si se incluye o no la preparación de abono orgánico doméstico).
- Se debe proporcionar información sobre los tipos de desechos que se preparan como abono o reciben tratamiento anaeróbico, (p. ej., desechos alimenticios, desechos de parques y jardines), en función de su disponibilidad.
- Los factores de emisión específicos del país deben justificarse y referenciarse.
- En los casos en los que las declaraciones sobre el tratamiento biológico se dividan en varios sectores y/o categorías, hay que precisar las declaraciones bajo todos los sectores/categorías pertinentes para evitar el cómputo doble o las omisiones.

Las hojas de trabajo desarrolladas para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del tratamiento biológico se incluyen al final de este Volumen. Estas hojas de trabajo contienen información sobre los datos de la actividad y los factores de emisión utilizados para calcular las estimaciones.

## Referencias

- Arnold, M. (2005). Espoo: VTT Processes: Unpublished material from measurements from biowaste composts. (Personal communication).
- Beck-Friis, B.G. (2001). *Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane during composting of organic household waste*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. 331 p. (Doctoral Thesis).
- Binner, E. (2002). *The impact of Mechanical-Biological Pretreatment on the Landfill Behaviour of Solid Wastes*. Workshop Biowaste. Brussels, 8-10.04.2002. 16 p.
- Detzel, A., Vogt, R., Fehrenbach, H., Knappe, F. and Gromke, U. (2003). *Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung und internationale Richtlinien: Teilbericht Abfall/Abwasser*. IFEU Institut - Öko-Institut e.V. 77 p.
- Hellebrand, H.J. (1998). 'Emissions of nitrous oxide and other trace gases during composting of grass and green waste', *J. agric, Engng Res.*, 69:365-375.
- Hogg, D., Favoino, E., Nielsen, N., Thompson, J., Wood, K., Penschke, A., Economides, D. and Papageorgiou, S., (2002). *Economic analysis of options for managing biodegradable municipal waste*, Final Report to the European Commission, Eunomia Research & Consulting, Bristol, UK.
- Kaartinen, T. (2004). *Sustainable disposal of residual fractions of MSW to future landfills*. Espoo: Technical University of Helsinki. (Master of Science Thesis). In Finnish.
- Petersen, S.O., Lind, A.M. and Sommer, S.G. (1998). 'Nitrogen and organic matter losses during storage of cattle and pig manure', *J. Agric. Sci.*, 130: 69-79.
- Vesterinen, R. (1996): *Impact of waste management alternatives on greenhouse gas emissions: Greenhouse gas emissions from composting*. Jyväskylä: VTT Energy. Research report ENE38/T0018/96. (In Finnish). 30p.