

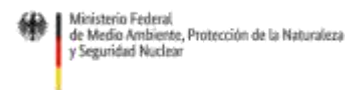
Lineamiento para la Aplicación de Metodologías para el Cálculo de Emisiones de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero del Sector Residuos



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:



de la República Federal de Alemania

Publicado por

Detusche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Friedrich-Ebert-Allee 36+40
53113 Bonn, Deutschland
T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66
E info@giz.de
I www.giz.de/mexico-mx

Dag-Hammarskjöld-Weg 1 - 5
65760 Eschborn, Deutschland
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15
E info@giz.de
I www.giz.de

Proyecto

Alianza Mexicana Alemana de Cambio Climático
Ejército Nacional 223
Col. Anáhuac, Del. Miguel Hidalgo
C.P. 11320
T +52 55 5536 2344
F +52 55 5536 2344
E giz-mexiko@giz.de

Información Adicional

www.giz.de/mexico-mx
www.international-climate-initiative.com
www.iki-alliance.mx
www.youtube.com/gizmxclimatechange

Autora

Alejandra Medina Arevalo

Coordinación y supervisión GIZ

- Dirección General de Políticas de Políticas para el Cambio Climático, de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (DPCC, SEMARNAT)
- Alianza Mexicana Alemana de Cambio Climático de la Detusche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Este Proyecto forma parte de la Iniciativa Internacional del Clima (IKI). El Ministerio Federal de Ambiente, Protección de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear de Alemania (BMU por sus siglas en alemán) apoya esta iniciativa con base en una decisión adoptada por el Parlamento Alemán.

Publicado en México noviembre 2018

ÍNDICE

Índice de Tablas	5
1. Definiciones	6
2. Categoría de Disposición Final de Residuos Sólidos	9
3. Categoría de Tratamiento Biológico de Residuos Sólidos	13
4. Categoría de Incineración de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial	15
5. Categoría de Quema de Residuos Sólidos a Cielo Abierto	17
6. Categoría de Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales Municipales	19
7. Categoría de Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales Industriales	22
8. Categoría de Manejo de Lodos Provenientes de Aguas Residuales Municipales en Composta	24
9. Categoría de Manejo de Lodos Provenientes de Aguas Residuales Municipales en Relleno Sanitario	25
10. Categoría de Manejo de Lodos Provenientes de Aguas Residuales Industriales en Incineración	26
11. Bibliografía y Fuentes Adicionales de Información	28

Índice de Tablas

Tabla 1. Elementos de Metodología de Categoría de Disposición Final de Residuos Sólidos.	10
Tabla 2. Valores de MCF por Características del Sitio de Disposición Final (SDF).	11
Tabla 3. Valores de DOC por categoría de residuos j.	11
Tabla 4. Valores de la constante de descomposición k_j DOC por categoría de residuos j.	12
Tabla 5. Elementos de Metodología de Categoría de Disposición Final de Residuos Sólidos.	13
Tabla 6. Factores de emisión para las emisiones de CH ₄ y N ₂ O procedentes del tratamiento biológico de los residuos	14
Tabla 7. Elementos de Metodología de Incineración de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial.	15
Tabla 8. Datos por Defecto para Emisión de GEI para la Incineración.	16
Tabla 9. Elementos de Metodología de Quema de Residuos Sólidos a Cielo Abierto.	17
Tabla 10. Datos por defecto para los factores de emisión de CO ₂ para la quema de residuos a cielo abierto	17
Tabla 11. Elementos de Metodología para Categoría de Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales Municipales.	20
Tabla 12. Variables por defecto para el factor de emisión para el tratamiento y descarga de aguas residuales municipales.	21
Tabla 13. Variables por Defecto para Emisiones de N ₂ O Generadas en Aguas Residuales	21
Tabla 14. Elementos de Metodología para Categoría de Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales Industriales.	22
Tabla 15. Variables para el Factor de Emisión para el Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales Industriales	23
Tabla 16. Elementos de Metodología para Categoría de Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales Industriales.	24
Tabla 17. Elementos de Metodología para Categoría de Manejo de Lodos Provenientes de Aguas Residuales Municipales en Relleno Sanitario.	25
Tabla 18. Elementos de Categoría de Manejo de Lodos Provenientes de Aguas Residuales Industriales en Incineración.	26

Se establecen las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de Emisiones de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero del sector residuos.

1. Definiciones

Para los efectos de las metodologías de cálculo previstas en el punto dos al diez del presente lineamiento, se entenderá por:

I	Actividad:	Datos sobre la magnitud de la actividad humana que resulta en Emisiones o absorciones de Compuestos o Gases de Efecto Invernadero y que tienen lugar durante un período de tiempo determinado.
II	Aguas residuales:	Aquellas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.
III	Aguas residuales domésticas:	Aquellas provenientes del uso particular de las personas y del hogar.
IV	Aguas residuales industriales:	Las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable.
V	Año de reporte:	El reporte de las Emisiones Directas e Indirectas de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero generadas entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del año inmediato anterior.
VI	Composta	Producto orgánico estable, inocuo, libre de sustancias fitotóxicas, derivado del terminado del proceso de biodegradación de los residuos orgánicos, en el que su grado de madurez, no se reconoce su origen, puesto que sus componentes se han degradado en partículas finas.
VII	Demanda Química de Oxígeno (DQO):	La cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en un cuerpo de agua, susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte.
VIII	Emisión de bióxido de carbono equivalente (CO ₂ e):	La cantidad de bióxido de carbono (CO ₂) que causaría el mismo forzamiento radiativo integrado, en un horizonte de tiempo determinado, como una cantidad emitida de un Gas o Compuesto de Efecto Invernadero o una mezcla de gases de efecto invernadero. La emisión de CO ₂ equivalente se obtiene multiplicando la emisión de un Gas de Efecto Invernadero por su Potencial de Calentamiento Global (PCG) para el horizonte temporal determinado.
IX	Estiércol:	Incluye la bosta y la orina (es decir, los sólidos y los líquidos) producidos por el ganado.
X	Factor de emisión:	Relación entre la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera y una unidad de actividad.
XI	Generación de energía eléctrica:	La producción de energía eléctrica a partir de fuentes primarias de energía, utilizando los sistemas y equipos correspondientes.
XII	Incineración:	Cualquier proceso para reducir el volumen y descomponer o cambiar la composición física, química o biológica de un residuo sólido, líquido o gaseoso, mediante oxidación térmica, en la cual todos los factores de combustión, como la temperatura, el tiempo de retención y la turbulencia, pueden ser controlados a fin de alcanzar la eficiencia, eficacia y los parámetros ambientales previamente establecidos. En esta definición se

		incluye la pirólisis, la gasificación y plasma, sólo cuando los subproductos combustibles generados en estos procesos sean sometidos a combustión en un ambiente rico en oxígeno.
XIII	Incineración abierta de residuos:	La combustión de materiales combustibles no deseados, tales como papel, madera, plástico, textiles, caucho, desechos de aceites y otros residuos, al aire libre o en vertederos abiertos, donde el humo y otras emisiones se liberan directamente al aire, sin pasar por una chimenea o columna.
XIV	Potencial de Calentamiento Global:	Medida relativa que compara un Gas o Compuesto de Efecto Invernadero con el bióxido de carbono como el gas de referencia.
XV	Proceso productivo:	Conjunto de actividades relacionadas con la extracción, beneficio, transformación, procesamiento y/o utilización de materiales para producir bienes y servicios.
XVI	Producto:	Bien que generan los procesos productivos a partir de la utilización de materiales primarios o secundarios. Para los fines de los planes de manejo, un producto envasado comprende sus ingredientes o componentes y su envase.
XVII	Registro:	Registro Nacional de Emisiones.
XVIII	Relleno sanitario:	Obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicionales, los impactos ambientales.
XIX	Residuos Sólidos Urbanos:	Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos.
XX	Residuos de Manejo Especial:	Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.
XXI	Residuos Peligrosos:	Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
XXII	Secretaría:	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
XXIII	Sitio de disposición final:	Lugar donde se depositan los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en forma definitiva.
XXIV	Sitio controlado:	Sitio inadecuado de disposición final que cumple con las especificaciones de un relleno sanitario en lo que se refiere a obras de infraestructura y operación, pero no cumple con las especificaciones de impermeabilización.
XXV	Sitio no controlado:	Sitio inadecuado de disposición final que no cumple con los requisitos establecidos en esta Norma.

XXVI	Tratamiento:	Procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad.
XXVII	Subproducto:	Aquel que no es parte del producto final pero que se genera en un proceso productivo y puede constituir un insumo en un proceso industrial distinto al que lo generó.

Para la interpretación o complemento de las definiciones previstas en este punto se aplicarán las definiciones contenidas en la Ley General de Cambio Climático, su Reglamento en materia del Registro Nacional de Emisiones, así como los Acuerdos que expida la Secretaría en los términos y para los efectos previstos en el artículo 8 de dicha disposición reglamentaria.

Los Establecimientos sujetos a reporte, además de reportar las Emisiones de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero de su actividad preponderante, deberán calcular y reportar sus emisiones producidas durante el manejo de residuos sólidos y de aguas residuales.

El cálculo a que se refiere el párrafo anterior se realizará aplicando las metodologías previstas en los puntos dos al diez, del presente Lineamiento.

2. Categoría de Disposición Final de Residuos Sólidos

Para el cálculo de Emisiones de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero de los Establecimientos Sujetos a Reporte del sector residuos en la categoría de disposición final de residuos sólidos, se deberá aplicar la siguiente metodología (INEGYCEI, 2018a-c, IPCC, 2006a):

$$DDOCm_{j,i} = W_i \times \frac{C_j}{100} \times MCF \times DOC_j \times DOCf_j$$

$$DDOC_{maj,i} = DDOCm_{j,i} + DDOC_{maj,i-1} \times e^{-k_j}$$

$$DDOCm_{d j,i} = DDOC_{maj,i-1} \times (1 - e^{-k_j})$$

$$CH_{4g j,i} = DDOCm_{d j,i} \times F \times 16/12$$

$$E_{CH_4 i} = \sum CH_{4g j,i}$$

$$E_{CO_2e(CH_4)} = E_{CH_4} \times PCG_{CH_4}$$

Donde:

Elemento	Significado	Unidades
$DDOCm_{j,i}$	Masa del carbono orgánico degradable de la categoría de residuos j dispuestos en el año i .	kg .
W_i	Masa de residuos dispuestos en el año i .	kg .
C_j	Composición de los residuos dispuestos por categoría j . Las categorías por considerar son: residuos de comida, jardinería, papel, madera y paja, textiles, y pañales.	-

Elemento	Significado	Unidades
MCF	Factor de corrección de metano para la descomposición aeróbica durante el año de disposición. Ver Tabla 2Tabla 3.	-
DOC_j	Fracción de carbono orgánico degradable contenido en la categoría de residuos j . Ver Tabla 3.	-
$DOCf_j$	Fracción de carbono orgánico degradable que se descompone bajo condiciones anaeróbicas cuyo valor por defecto es igual a 0.5.	-
$DDOC_{maj,i}$	Masa del carbono orgánico degradable acumulado por la categoría de residuos j al final del año i .	kg .
$DDOC_{maj,i-1}$	Masa de carbono orgánico degradable acumulado de la categoría de residuos j al final del año previo a i , es decir: $i - 1$.	kg .
k_j	Tasa constante de descomposición para cada categoría de residuos j (año-1). Ver Tabla 4.	-
$DDOC_{md,j,i}$	Masa del carbono orgánico degradable descompuesto de la categoría de residuos j al finalizar el año i .	kg .
$DDOC_{dc,j,i}$	Masa de carbono orgánico degradable descompuesto de la categoría de residuos j durante el año i .	kg .
$CH_{4,g,j,i}$	Masa de metano generado a partir del material en descomposición por cada categoría de residuos j en el año i .	kg .
F	Fracción volumétrica del metano en el biogás generado, 0.5.	-
$16/12$	Cociente de pesos moleculares del metano y el carbono (CH_4/C) (adimensional).	-
$E_{CH_4,i}$	Emisiones de metano total generado a partir de las seis categorías de residuos en el año i .	kg .
$E_{CO_2e(CH_4)}$	Emisión de bióxido de carbono equivalente proveniente de las emisiones de metano.	kg_{CO_2e} .
PCG_{CH_4}	Potencial de calentamiento global de metano.	$\frac{kg_{CO_2}}{kg_{CH_4}}$.

Tabla 1. Elementos de Metodología de Categoría de Disposición Final de Residuos Sólidos.
Fuente: (INEGYCEI, 2018a-c, IPCC, 2006a).

Manejo del SDF	Profundidad	
	< 5 m	≥ 5 m
Sin manejo (sitio no controlado)	0.4	0.8
Con manejo (relleno sanitario)	0.8	1.0
Aeróbico (relleno controlado)	0.4	0.5
Situación desconocida	0.4	0.8

Tabla 2. Valores de MCF por Características del Sitio de Disposición Final (SDF).

Fuente: Ludwing V, 2009. Landfill Methane Outreach Program. Manual del Usuario Modelo Mexicano de Biogás. Versión 2.0. Agencia para la Protección del Ambiente (U.S. EPA) Washington, D.C. marzo 2009.

Categoría de residuos <i>j</i>	Comida	Jardín	Papel	Madera y paja	Textiles	Pañales
<i>DOC</i>	0.15	0.2	0.4	0.43	0.24	0.24

Tabla 3. Valores de DOC por categoría de residuos *j*.

Fuente: IPCC 2006a, Vol. 5.

Entidades federativas	k_1 Comida	k_2 Jardín	k_3 Papel	k_4 Madera y paja	k_5 Textiles	k_6 Pañales
Aguascalientes, Ciudad de México, Guanajuato, Hidalgo, México, Puebla, Querétaro y Tlaxcala	0.160	0.075	0.032	0.016	0.032	0.160
Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas	0.100	0.050	0.020	0.010	0.020	0.100
Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán	0.300	0.130	0.050	0.025	0.050	0.300
Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca y Sinaloa	0.220	0.100	0.040	0.020	0.040	0.220

Entidades federativas	k_1 Comida	k_2 Jardín	k_3 Papel	k_4 Madera y paja	k_5 Textiles	k_6 Pañales
Nuevo León y Tamaulipas	0.150	0.070	0.030	0.015	0.030	0.150

Tabla 4. Valores de la constante de descomposición (k_j) DOC por categoría de residuos j.

Fuente: Ludwig V, 2009. Landfill Methane Outreach Program. Manual del Usuario Modelo Mexicano de Biogás. Versión 2.0. Agencia para la Protección del Ambiente (U.S. EPA) Washington, D.C. Marzo 2009.

3. Categoría de Tratamiento Biológico de Residuos Sólidos

Para el cálculo de Emisiones de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero de los Establecimientos Sujetos a Reporte del sector residuos en la categoría de tratamiento biológico de residuos sólidos, se deberá aplicar la siguiente metodología (INEGYCEI, 2018a-c, IPCC, 2006b):

$$E_{CH_4} = \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R$$

$$E_{N_2O} = \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

$$E_{CO_2e(CH_4)} = E_{CH_4} \times PCG_{CH_4}$$

$$E_{CO_2e(N_2O)} = E_{N_2O} \times PCG_{N_2O}$$

Donde:

Elemento	Significado	Unidades
E_{CH_4}	Total de las emisiones de CH ₄ durante el año.	kg_{CH_4} .
M_i	Masa de los residuos orgánicos sometidos al tratamiento biológico i	kg .
EF_i	Factor de emisión del tratamiento i . Ver Tabla 6.	$\frac{g_{CH_4} \text{ ó } N_2O}{kg_{residuos\ tratados}}$.
i	Preparación de composta o digestión anaeróbica.	-
R	Cantidad total de CH ₄ recuperado durante el año.	kg_{CH_4} .
E_{N_2O}	Total de las emisiones de N ₂ O durante el año.	kg_{N_2O} .
$E_{CO_2e(CH_4)}$	Emisión de bióxido de carbono equivalente proveniente de las emisiones de metano.	kg_{CO_2e} .
PCG_{CH_4}	Potencial de calentamiento global de metano.	$\frac{kg_{CO_2}}{kg_{CH_4}}$.
$E_{CO_2e(N_2O)}$	Emisión de bióxido de carbono equivalente proveniente de la emisión del óxido nitroso.	kg_{CO_2e} .
PCG_{N_2O}	Potencial de calentamiento global del óxido nitroso.	$\frac{kg_{CO_2}}{kg_{N_2O}}$.

Tabla 5. Elementos de Metodología de Categoría de Disposición Final de Residuos Sólidos.
Fuente: (INEGYCEI, 2018a-c, IPCC, 2006a).

Tipo de tratamiento biológico	Factores de emisión de CH ₄ $\left(\frac{g_{CH_4}}{kg_{residuos\ tratados}}\right)$	Factores de emisión de N ₂ O $\left(\frac{g_{N_2O}}{kg_{residuos\ tratados}}\right)$
Preparación de abono orgánico (composta)	4 (0.03-8) sobre la base de peso húmedo	0.3 (0.06-0.6) sobre la base de peso húmedo
Digestión anaeróbica en las instalaciones de biogás	1 (0 - 8) sobre la base de peso húmedo	Se supone insignificante

Tabla 6. Factores de emisión para las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes del tratamiento biológico de los residuos
Fuente: IPCC 2006b, Cuadro 4.1 Vol. 5.

4. Categoría de Incineración de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial

Para el cálculo de Emisiones de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero de los Establecimientos Sujetos a Reporte del sector residuos en la categoría de incineración de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, se deberá aplicar la siguiente metodología (IPCC, 2006c):

$$E_{CO_2} = RS \sum_i (WF_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times (44/12)$$

Donde:

Elemento	Significado	Unidades
E_{CO_2}	Emisiones de CO ₂ durante el año.	$\frac{kg}{año}$
RS	Cantidad total de residuos sólidos urbanos (RSU) o residuos sólidos de manejo especial (RME) de tipo i (peso húmedo) incinerados.	$\frac{kg}{año}$
WF_i	Fracción de tipo / material de residuos del componente i en los residuos.	$\frac{RSU}{RME}$
dm_i	Contenido de materia seca en los residuos incinerados (fracción). Ver Tabla 8.	-
CF_i	Fracción de carbono en la materia seca (contenido de carbono total). Ver Tabla 8.	-
FCF_i	Fracción de carbono fósil en el carbono total. Ver Tabla 8.	-
OF_i	Factor de oxidación (fracción). Ver Tabla 8.	-
$44/12$	Factor de conversión de C en CO ₂ .	-
j	Tipo de residuo incinerado.	-
E_{CO_2}	Emisiones de CO ₂ durante el año.	$\frac{kg}{año}$
RS	Cantidad total de residuos sólidos urbanos (RSU) o residuos sólidos de manejo especial (RME) de tipo i (peso húmedo) incinerados.	$\frac{kg}{año}$

Tabla 7. Elementos de Metodología de Incineración de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial.
Fuente: (INEGYCEI, 2018a-c, IPCC, 2006a).

Tipo de RSU/RME	RSU			RME		
	Contenido de materia seca	Fracción de carbono en materia seca	Fracción de carbono fósil en el carbono total	Contenido de materia seca	Fracción de carbono en materia seca	Fracción de carbono fósil en el carbono total
Papel/cartón	90	44	1	90	40	1
Textiles	80	30	20	80	24	16
Desechos de alimentos	40	38	-	40	15	-
Madera	85	50	-	85	43	-
Desechos de jardines y parques	40	49	0	-	-	-
Pañales	40	60	10	-	-	-
Caucho y cuero	84	47	20	84	39	17
Plásticos	100	-	100	-	-	-
Metal	100	-	ND	-	-	-
Vidrio	100	-	ND	-	-	-
Otros, residuos inertes	90	-	100	90	1	3

Factor de oxidación = 100%
Factor de conversión = 3.6667.

Tabla 8. Datos por Defecto para Emisión de GEI para la Incineración.
Fuente: IPCC 2006, Cuadros 2.4. y 2.5. cap. 5.2.

5. Categoría de Quema de Residuos Sólidos a Cielo Abierto

Para el cálculo de Emisiones de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero de los Establecimientos Sujetos a Reporte del sector residuos en la categoría de quema de residuos sólidos a cielo abierto, se deberá aplicar la siguiente metodología (IPCC, 2006c):

$$E_{CO_2} = MSW \times \sum_j (WF_j \times dm_j \times CF_j \times FCF_j \times OF_j) \times (44/12)$$

Donde:

Elemento	Significado	Unidades
E_{CO_2}	Emisiones de CO ₂ durante el año.	$\frac{kg}{año}$
MSW	Cantidad total de residuos sólidos municipales en peso húmedo quemados por quema a cielo abierto.	$\frac{kg}{año}$
WF_i	Fracción de material de residuos del tipo j en los RSU y RME (en peso húmedo).	-
dm_i	contenido de materia seca en los residuos quemados por quema a cielo abierto (fracción). Ver Tabla 10.	-
CF_i	Fracción de carbono en la materia seca (contenido de carbono total). Ver Tabla 10.	-
FCF_i	Fracción de carbono fósil en el carbono total del componente j . Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..	-
OF_i	Factor de oxidación (fracción).	-
$44/12$	Factor de conversión de C en CO ₂ con: $\sum_j WF_j = 1$.	-
j	Componente de los RSU sometido a incineración abierta, como papel/cartón, textiles, residuos de alimentos, madera, desecho de jardines y parques, plásticos, otros.	-

Tabla 9. Elementos de Metodología de Quema de Residuos Sólidos a Cielo Abierto.
Fuente: (IPCC, 2006c).

Parámetros	Papel, cartón, productos de papel	Textiles	Plásticos	Vidrios	Metales	Residuos orgánicos ^a	Otro tipo de residuos ^b
Contenido de materia seca	90%	80%	100%	100%	100%	40%	62%
Fracción de carbono en materia seca	44%	30%	75%	0%	0%	38%	54%
Fracción de carbono fósil en el carbono total	1%	20%	100%	0%	0%	0%	15%

Tabla 10. Datos por defecto para los factores de emisión de CO₂ para la quema de residuos a cielo abierto

Factor de oxidación= 58%; Factor de conversión= 3.6667.

^a En su proceso de descomposición natural, estos residuos generan una mezcla gaseosa conocida como biogás, que debe quemarse (acuerdo internacional para el control de emisiones de gases de efecto invernadero).

^b Incluye residuos finos, material de demoliciones, hules y pañales desechables, entre otros.

Fuente: IPCC 2006c. Cuadros 2.4 y 2.15, Cap. 5.

6. Categoría de Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales Municipales

Para el cálculo de Emisiones de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero de los Establecimientos Sujetos a Reporte del sector residuos en la categoría de tratamiento y descarga de aguas residuales municipales, se deberá aplicar la siguiente metodología (INEGYCEI, 2018a-c, IPCC, 2006d):

$$E_{CH_4} = P(DBO_i - DBO_e - DBO_{rl}) \times B_o \times MCF_j$$

$$EF_E = B_o \times MCF_j$$

$$E_{N_2O} = N_E \times EF_E \times 44/28$$

$$N_E = (P \times PR \times F_{NPR} \times F_{NC} \times F_{IC}) - N_S$$

$$E_{CO_2e(CH_4)} = E_{CH_4} \times PCG_{CH_4}$$

$$E_{CO_2e(N_2O)} = E_{N_2O} \times PCG_{N_2O}$$

Donde:

Elemento	Significado	Unidades
E_{CH_4}	Emisiones de metano ocurridas durante el año.	$\frac{kg}{año}$
B_o	Capacidad máxima de producción de CH ₄ = 0.6.	$\frac{kg_{CH_4}}{kg_{BOD}}$
MCF_j	Factor de corrección para el metano (fracción). Ver Tabla 12.	-
DBO_i	DBO en el influente.	-
DBO_e	DBO en el efluente.	-
DBO_{rl}	0.65 DBO_i , DBO removido como lodo.	-
E_{N_2O}	Emisiones de N ₂ O durante el año.	$\frac{kg_{N_2O}}{año}$
N_E	Nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos.	$\frac{kg_N}{año}$
EF_E	Factor de emisión para las emisiones de N ₂ O provenientes de la eliminación en aguas servidas.	$\frac{kg_{N_2O}}{kg_N}$

Elemento	Significado	Unidades
44/28	Factor que corresponde a la conversión de kg de N_2O-N en kg de N_2O .	-
P	Población humana.	-
PR	Consumo per cápita anual de proteínas.	$\frac{kg}{persona \cdot año}$.
F_{NPR}	Fracción de nitrógeno en las proteínas; por defecto = $0.16 kg$ de $\frac{N}{kg_{proteína}}$. Ver Tabla 13.	-
F_{NC}	Factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales.	-
F_{IC}	Factor para las proteínas industriales y comerciales coeliminadas en los sistemas de alcantarillado.	-
N_S	Nitrógeno separado con el lodo residual (por defecto = 0).	$\frac{kg_{proteína}}{año}$.
$E_{CO_2e(CH_4)}$	Emisión de bióxido de carbono equivalente proveniente de las emisiones de metano.	kg_{CO_2e} .
PCG_{CH_4}	Potencial de calentamiento global de metano.	$\frac{kg_{CO_2}}{kg_{CH_4}}$.
$E_{CO_2e(N_2O)}$	Emisión de bióxido de carbono equivalente proveniente de la emisión del óxido nitroso.	kg_{CO_2e} .
PCG_{N_2O}	Potencial de calentamiento global del óxido nitroso	$\frac{kg_{CO_2}}{kg_{N_2O}}$.

Tabla 11. Elementos de Metodología para Categoría de Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales Municipales.
Fuente: (INEGYCEI, 2018a-c, IPCC, 2006d).

Tipo de tratamiento o descarga	Factor de corrección de metano MCF_j	Factor de emisión $\left(\frac{kg_{CH_4}}{kg_{BOD}}\right)$
Eliminación en ríos.	0.1	0.06
No tratada (canales/alcantarilla abierta).	0.1	0.06
Tratamiento aeróbico: discos biológicos o biodiscos, filtros biológicos o rociadores o percoladores, lodos activados bien operados.	0.0	0.00
Tratamiento aeróbico mal operado.	0.3	0.18

Tipo de tratamiento o descarga	Factor de corrección de metano MCF_j	Factor de emisión $\left(\frac{kg_{CH_4}}{kg_{BOD}}\right)$
Laguna anaeróbica menor a 2 m de profundidad.	0.2	0.12
Laguna anaeróbica mayor a 2 m de profundidad.	0.8	0.48
Primario, primario avanzado y sedimentación.	0.4	0.24
Zanjas de oxidación, humedales (wetland) y dual.	0.3	0.18
Anaerobio.	1.0	0.60
Rafa o Uasb.	0.8	0.48
Tanque Imhoff.	1.0	0.60
Reactor enzimático.	0.6	0.36
Tanque séptico o fosa séptica, clima seco, uso comunitario.	0.5	0.30
Otros procesos.	0.6	0.36

Tabla 12. Variables por defecto para el factor de emisión para el tratamiento y descarga de aguas residuales municipales.
Fuente: IPCC 2006d. Cuadro 6.3, Cap. 6, Vol 5. ECAM, V2. 2017.

Datos por defecto para la metodología del N ₂ O	Valor
Fracción de nitrógeno en proteína $\left(\frac{kg_N}{N_{proteína}}\right)$.	0.160
Factor de ajuste para la proteína no consumida	1.100
Fracción de proteína industrial y comercial codescargada	1.250
Nitrógeno eliminado en lodos (kg).	0.000
Factor de emisión	0.005
Factor de conversión de kg N ₂ O-N en kg N ₂ O	1.600

Tabla 13. Variables por Defecto para Emisiones de N₂O Generadas en Aguas Residuales
Fuente: IPCC 2006d. Cuadro 6.3, Cap. 6, Vol 5. ECAM, V2. 2017

7. Categoría de Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales Industriales

Para el cálculo de Emisiones de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero de los Establecimientos Sujetos a Reporte del sector residuos en la categoría de tratamiento y descarga de aguas residuales industriales, se deberá aplicar la siguiente metodología (INEGYCEI, 2018a-c, IPCC, 2006d):

$$E_{CH_4} = \sum_i [(TOW_i - S_i)EF_j - R_i]$$

$$EF_j = B_o \times MCF_j$$

$$E_{CO_{2e}(CH_4)} = E_{CH_4} \times PCG_{CH_4}$$

Donde:

Elemento	Significado	Unidades
E_{CH_4}	Emisiones de metano ocurridas durante el año.	$\frac{kg}{año}$
TOW_i	Total, de materia orgánica en las aguas residuales de la industria i durante el año.	$\frac{kg_{DQO}}{año}$
i	Sector industrial.	-
S_i	Componente orgánico separado como lodo durante el año.	$\frac{kg_{DQO}}{año}$
EF_i	Factor de emisión para la industria i para el sistema de tratamiento utilizado en el año. Ver Tabla 15.	$\frac{kg_{CH_4}}{kg_{DQO}}$
R_i	Cantidad de CH_4 recuperado durante el año.	$\frac{kg_{CH_4}}{año}$
j	Cada sistema de tratamiento.	-
B_o	Capacidad máxima de producción de CH_4 . Ver Tabla 15.	$\frac{kg_{CH_4}}{kg_{DQO}}$
MCF_j	Factor de corrección para el metano (fracción). Ver Tabla 15.	-
$E_{CO_{2e}(CH_4)}$	Emisión de bióxido de carbono equivalente proveniente de las emisiones de metano.	kg_{CO_2e}
PCG_{CH_4}	Potencial de calentamiento global de metano.	$\frac{kg_{CO_2}}{kg_{CH_4}}$

Tabla 14. Elementos de Metodología para Categoría de Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales Industriales.
Fuente: INEGYCEI, 2018a-c, IPCC, 2006d

Tipo de tratamiento o descarga	Máxima capacidad de producción de Metano $\left(\frac{kg_{CH_4}}{kg_{COD}}\right)$	Factor de corrección de Metano MCF_j	Factor de emisión $\left(\frac{kg_{CH_4}}{kg_{COD}}\right)$
Primario	0.25	0.2	0.050
Secundario	0.25	0.3	0.075
Terciario	0.25	0.1	0.025
No especificado*	-	-	0.0625
No tratadas	0.06		0.060

*El factor de emisión para no especificado fue el promedio de los tratamientos primario y secundario.

Tabla 15. Variables para el Factor de Emisión para el Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales Industriales
Fuente: IPCC 2006d. Cuadro 6.2 y 6.8, Cap. 6, Vol. 5,

8. Categoría de Manejo de Lodos Provenientes de Aguas Residuales Municipales en Composta

Para el cálculo de Emisiones de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero de los Establecimientos Sujetos a Reporte del sector residuos en la categoría de manejo de lodos provenientes de aguas residuales municipales en composta, se deberá aplicar la siguiente metodología (Environmental, S., 2009 y ECAM, V2. 2017):

$$E_{CH_4} = L \times \%C \times \%VS \times CH_4/p \times C/CH_4$$

$$E_{N_2O} = L \times \%N \times N_2O/C:N \times N/N_2O$$

$$E_{CO_2e(CH_4)} = E_{CH_4} \times PCG_{CH_4}$$

$$E_{CO_2e(N_2O)} = E_{N_2O} \times PCG_{N_2O}$$

Donde:

Elemento	Significado	Unidades
E_{CH_4}	Emisiones de metano ocurridas durante el año.	$\frac{kg}{año}$
E_{N_2O}	Emisiones de N ₂ O durante el año.	$\frac{kg_{N_2O}}{año}$
L	Total de lodos tratados.	$\frac{kg}{año}$
$\%VS$	Sólidos en los procesos: 51 en un digestor de lodos, 70 cuando no provienen de digestor anaerobio.	%.
$\%C$	Porcentaje de carbón orgánico en los sólidos volátiles = 56.	%.
CH_4/p	Factor de emisión de CH ₄ en pila descubierta = 2.5	-
C/CH_4	Factor de conversión de C a CH ₄ = 1.3.	-
$\%N$	Factor de nitrógeno total en el proceso = 3.	%
$N_2O/C:N$	Factor de emisión de N ₂ O por baja relación C:N = 1.5.	-
N/N_2O	Factor de conversión de N a N ₂ O = 1.57.	-
$E_{CO_2e(CH_4)}$	Emisión de bióxido de carbono equivalente proveniente de las emisiones de metano.	kg_{CO_2e}
PCG_{CH_4}	Potencial de calentamiento global de metano.	$\frac{kg_{CO_2}}{kg_{CH_4}}$
$E_{CO_2e(N_2O)}$	Emisión de bióxido de carbono equivalente proveniente de la emisión del óxido nitroso.	kg_{CO_2e}
PCG_{N_2O}	Potencial de calentamiento global del óxido nitroso.	$\frac{kg_{CO_2}}{kg_{N_2O}}$

Tabla 16. Elementos de Metodología para Categoría de Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales Industriales.
Fuente: Environmental, S., 2009 y ECAM, V2. 2017

9. Categoría de Manejo de Lodos Provenientes de Aguas Residuales Municipales en Relleno Sanitario

Para el cálculo de Emisiones de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero de los Establecimientos Sujetos a Reporte del sector residuos en la categoría de manejo de lodos provenientes de aguas residuales municipales en relleno sanitario, se deberá aplicar la siguiente metodología (Environmental, S., 2009 y ECAM, V2. 2017):

$$E_{CH_4} = L \times \%C \times \%VS \times 0.9 \times CH_4/RS \times C/CH_4 \times \%D \times MCF_{RS} \times CMC$$

$$E_{N_2O} = L \times \%N \times N_2O/C:N \times N/N_2O \times CNC$$

$$E_{CO_{2e}(CH_4)} = E_{CH_4} \times PCG_{CH_4}$$

$$E_{CO_{2e}(N_2O)} = E_{N_2O} \times PCG_{N_2O}$$

Donde:

Elemento	Significado	Unidades
E_{CH_4}	Emisiones de metano ocurridas durante el año.	$\frac{kg}{año}$
L	Total, de lodos tratados.	$\frac{kg_{N_2O}}{año}$
$\%C$	Porcentaje orgánicos C en volumen de sólidos.	$\frac{kg}{año}$
$\%VS$	Sólidos en los procesos: 51 en un digestor de lodos, 70 cuando no provienen de digestor anaerobio.	%.
CH_4/RS	Factor de emisión de $CH_4 = 50$.	%
$\%D$	Porcentaje de descomposición en los primeros 3 años=69.9.	-
C/CH_4	Factor de conversión de C a $CH_4 = 1.3$.	%.
$\%N$	Factor de nitrógeno total en el proceso: 3.	-
$N_2O/C:N$	Factor de emisión de N_2O por baja relación C:N= 1.5.	%.
N/N_2O	Factor de conversión de N a $N_2O = 1.57$.	-
$E_{CO_{2e}(CH_4)}$	Emisión de bióxido de carbono equivalente proveniente de las emisiones de metano.	-
PCG_{CH_4}	Potencial de calentamiento global de metano.	kg_{CO_2e}

Tabla 17. Elementos de Metodología para Categoría de Manejo de Lodos Provenientes de Aguas Residuales Municipales en Relleno Sanitario.

Fuente: Environmental, S., 2009 y ECAM, V2. 2017

10. Categoría de Manejo de Lodos Provenientes de Aguas Residuales Industriales en Incineración

Para el cálculo de Emisiones de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero de los Establecimientos Sujetos a Reporte del sector residuos en la categoría de manejo de lodos provenientes de aguas residuales industriales en incineración, se deberá aplicar la siguiente metodología (Environmental, S., 2009 y ECAM, V2. 2017):

$$E_{CH_4} = L \times 0.0000485 \times CMC$$

$$E_{N_2O} = M_{lodos} \times \%N \times (161.3 - 0.140) \times T_{max} \times 0.01 \times N/N_2O \times CNC$$

$$E_{CO_2e(CH_4)} = E_{CH_4} \times PCG_{CH_4}$$

$$E_{CO_2e(N_2O)} = E_{N_2O} \times PCG_{N_2O}$$

Donde:

Elemento	Significado	Unidades
E_{CH_4}	Emisiones de metano ocurridas durante el año.	$\frac{kg}{año}$
L	Total de lodos tratados.	$\frac{kg}{año}$
0.0000485	Relación entre masa de metano y masa de lodo seco, asumiendo que el 20 % es de sólidos.	$\frac{kg_{CH_4}}{kg_{lodo\ seco}}$
M_{lodos}	Masa de lodos.	kg
T_{max}	Temperatura máxima en el proceso.	$^{\circ}C$
$\%N$	Factor de nitrógeno total en el proceso = 3.	%
N/N_2O	Factor de conversión de N a N ₂ O = 1.57.	-
$E_{CO_2e(CH_4)}$	Emisión de bióxido de carbono equivalente proveniente de las emisiones de metano.	kg_{CO_2e}
PCG_{CH_4}	Potencial de calentamiento global de metano.	$\frac{kg_{CO_2}}{kg_{CH_4}}$
$E_{CO_2e(N_2O)}$	Emisión de bióxido de carbono equivalente proveniente de la emisión del óxido nitroso.	kg_{CO_2e}
PCG_{N_2O}	Potencial de calentamiento global del óxido nitroso.	$\frac{kg_{CO_2}}{kg_{N_2O}}$

Tabla 18. Elementos de Categoría de Manejo de Lodos Provenientes de Aguas Residuales Industriales en Incineración.

Fuente: Environmental, S., 2009 y ECAM, V2. 2017

11. Bibliografía y Fuentes Adicionales de Información

- Acuerdo que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero.
[http://dof.gob.mx/nota_to_doc.php?codnota=5406149].
- ECAM, V2. 2017. Energy Performance and Carbon Emissions Assessment and Monitoring Tool Methodology. The Water and Wastewater Companies for Climate Mitigation (WaCCliM) project, is a joint initiative between the Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) and the International Water Association (IWA).
- Environmental, S., 2009. "The biosolids emissions assessment model (BEAM): a method for determining greenhouse gas emissions from Canadian biosolids management practices".
- INEGYCEI, 2018a. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015. Capítulo 6, Residuos, 5ª lectura.
- INEGYCEI, 2018b Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015. Anexo D Residuos, 2ª lectura, ajustada.
- INEGYCEI, 2018c. Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015. Anexo E, Residuos, 2ª lectura ajustada.
- IPCC, 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 5: Desechos, Capítulo 2: datos de generación, composición y gestión de desechos.
- IPCC, 2006a. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 5: Desechos, Capítulo 3: Eliminación de desechos sólidos.
- IPCC, 2006b. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 5: Desechos, Capítulo 4: Tratamiento biológico de los desechos sólidos.
- IPCC, 2006c. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 5: Desechos, Capítulo 5: Incineración e incineración abierta de desechos.
- IPCC, 2006d. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 5: Desechos, Capítulo 6: Tratamiento y eliminación de aguas residuales.
- LGCC, 2018. Ley General de Cambio Climático. Disponible en http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf
- Ludwing V, 2009. Landfill Methane Outreach Program. Manual del Usuario Modelo Mexicano de Biogás. Versión 2.0. Agencia para la Protección del Ambiente (U.S. EPA) Washington, D.C. Marzo 2009.
- NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
- Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en materia del Registro Nacional de Emisiones.
[http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5365828&fecha=28/10/2014].

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Agencia de la GIZ en México
Torre Hemicor, PH
Av. Insurgentes Sur No. 826
Col. Del Valle
03100 CDMX, México
T +52 55 5536 2344
E giz-mexiko@giz.de
I www.giz.de/mexico-mx
www.international-climate-initiative.com
www.iki-alliance.mx
www.youtube.com/gizmxclimatechange