



BIOGEMIS
CALCULADORA DE EMISIONES
DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO DE LA PRODUCCIÓN
Y EL USO DE BIOGÁS

MANUAL SOBRE METODOLOGÍA DE CÁLCULO

25 de abril de 2024

Versión 1

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	2
2	METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES	2
2.1	Cálculo de la producción de biogás	2
2.2	Cálculo de las emisiones de GEI antes de la conversión energética	5
2.2.1	Fórmula de cálculo	5
2.2.2	Cálculo del término e_{ec}	6
2.2.3	Cálculo del término e_l	6
2.2.4	Cálculo del término e_{sca}	6
2.2.5	Cálculo de los términos e_{ccs} y e_{ccr}	7
2.2.6	Cálculo del término e_{td}	7
2.2.7	Cálculo del término e_p	9
2.2.8	Cálculo del término e_u	17
2.3	Utilización de valores de emisiones por defecto	19
2.4	Asignación de emisiones	20
2.4.1	Digerido	20
2.4.2	Fracciones de biogás destinadas a productos energéticos: electricidad, calor, biometano y biogás	24
2.5	Cálculo de las emisiones tras la conversión energética	26
2.6	Cálculo de la reducción de emisiones	28
2.6.1	Cálculo de la reducción de emisiones de GEI de la calefacción y refrigeración, y electricidad generada a partir de biogás	28
2.6.2	Cálculo de la reducción de emisiones del biometano como combustible para el transporte	28
2.6.3	Cálculo de la reducción de emisiones de GEI del biometano inyectado a red o transportado en camiones	29
2.7	Cálculo de la producción de electricidad y/o calor a partir de biogás	29

1 INTRODUCCIÓN

Este documento recoge la metodología utilizada en la herramienta BIOGEMIS para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) resultantes de la producción y uso de biogás y biometano, así como de la reducción de emisiones de GEI correspondiente. Esta reducción se calcula en comparación con las emisiones de los combustibles fósiles de referencia. La metodología utilizada en la herramienta, y que se describe en el presente manual, es la establecida en la Directiva (UE) 2018/2001, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (DER II).

2 METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE EMISIONES

2.1 Cálculo de la producción de biogás

La producción de biogás se puede calcular mediante 2 métodos, que se describen a continuación:

a) Modelo basado en el Anaerobic Digester Model 1 (ADM1)

El IWA-ADM1 es un modelo de cálculo desarrollado por *Batstone et al. (2022)*¹ con el objetivo de parametrizar el proceso de digestión anaerobia haciéndolo predecible y estandarizable. El modelo se basa en una serie métodos matemáticos empleados para la descripción de los procesos bioquímicos y fisicoquímicos que tienen lugar en los digestores anaerobios. Además, el modelo ADM1 permite identificar posibles inhibiciones del proceso como la acumulación de sustancias tóxicas o la acumulación de intermediarios de reacción que no pueden ser asimilados por las bacterias en el interior del digestor, como la concentración de ácidos grasos de cadena corta (AGVs). La parametrización de los procesos bioquímicos hace posible la predicción de su comportamiento durante las diferentes etapas de la digestión anaerobia. El modelo parte de la concentración de moléculas bioquímicas complejas presentes en el sustrato (carbohidratos, lípidos y proteínas) que son degradadas en polímeros complejos y posteriormente en sus componentes monoméricos, finalizando el proceso en la producción de CO₂ y CH₄. La concentración de carbohidratos, lípidos y proteínas permite, junto con los sólidos volátiles, definir la concentración de demanda química de oxígeno (DQO) que no interacciona en el interior del reactor, despreciándola del proceso bioquímico pero teniéndola en cuenta de cara a cálculos fisicoquímicos. Para la conversión de unidades en las que están expresadas las concentraciones de carbohidratos, lípidos y proteínas (g DQO/t), se utilizan los factores de conversión que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores de conversión a unidades de DQO para los carbohidratos, lípidos y proteínas.

Compuesto	Factor de conversión	Unidades
Carbohidratos	1,07	g carbohidratos/g DQO
Lípidos	2,91	g lípidos/g DQO
Proteínas	1,5	g proteínas/g DQO

Este proceso bioquímico es modelado mediante diversas ecuaciones de estado que describen las reacciones de desintegración de las moléculas y de producción de biogás. Las ecuaciones fisicoquímicas se centran especialmente en los modelos de asociación y disociación de iones, así como en los procesos de transferencia gas-líquido. Adicionalmente, el modelo necesita partir de los siguientes parámetros de diseño: el volumen útil del digestor (60% del volumen total del reactor) y el tiempo de residencia (calculado a partir de los días que dura el proceso de producción de biogás).

El modelo utilizado en la calculadora BIOGEMIS es el original, específico para reactores a temperatura mesófila, con procesos en una única fase y con monodigestiones. Para

¹Batstone DJ, Keller J, Angelidaki I, Kalyuzhnyi SV, Pavlostathis SG, Rozzi A, Sanders WT, Siegrist H, Vavilin VA. The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1). *Water Sci Technol.* 2002;45(10):65-73. PMID: 12188579.

adaptar el sistema de monodigestiones a las mezclas de cosustratos que pueden incluirse en la herramienta, es posible introducir los valores de composición y caudal de la alimentación como la media ponderada de los valores de composición de cada uno de los sustratos.

Como resultado de la aplicación del modelo se obtienen los siguientes resultados: el caudal diario de biogás producido en la planta (m^3 biogás/día) y el porcentaje de metano en el biogás ($\% \text{CH}_4$).

El modelo ADM1 cuenta con un elevado impacto y fiabilidad dentro del sector del biogás, gracias a su capacidad para caracterizar procesos complejos y de elevado coste para los usuarios a partir de datos de fácil acceso. Su vigencia se refleja en la gran cantidad de actualizaciones e implementaciones para distintos sistemas que experimenta anualmente, que permiten adaptar el modelo a nuevos escenarios y proporcionar más información al usuario para poder efectuar una simulación ajustada a los procesos de digestión anaerobia llevados a cabo en la actualidad¹. Como se ha señalado, la ventaja de este sistema radica en su capacidad de obtener, a partir de datos fácilmente disponibles, la estimación de una producción de biogás en condiciones operativas. Sin embargo, la precisión del ADM1 se basa en la determinación experimental de los parámetros cinéticos que condicionan las ecuaciones diferenciales, centrales en la simulación del proceso. Si dichos parámetros no se adaptan a la perfección al sistema establecido, los valores obtenidos dispondrán de una precisión reducida. Este hecho se da principalmente en el caso de mezclas complejas de sustratos que se alejan de la convención de los ensayos realizados sobre el sistema ADM1 y para los cuales han sido establecidos los parámetros cinéticos pertinentes.

b) Modelo basado en el Potencial Máximo de Biometanización (BMP)

Este modelo permite calcular la producción máxima de metano de una mezcla de sustratos a partir de los valores ponderados de Potencial Máximo de Biometanización de cada uno de los sustratos que la componen, mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\text{Metano} = \sum V_i \times 1000 \times SV_i \times BMP_i$$

Donde:

Metano : Producción de metano (Nm^3).

V_i : Cantidad de sustrato i (t).

¹ Rongrong Mo, Wenjie Guo, Damien Batstone, Jacek Makinia, Yongmei Li, Modifications to the anaerobic digestion model no. 1 (ADM1) for enhanced understanding and application of the anaerobic treatment processes – A comprehensive review, Water Research, Volume 244, 2023, 120504, ISSN 0043-1354, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120504>.

SV_i : Concentración de sólidos volátiles del sustrato i (*g SV/g sustrato*)

BMP_i : Potencial Máximo de Biometanización del sustrato i (*Nm³ metano/kg SV*)

El modelo de estimación de producción basado en potenciales máximos de biometanización se incorpora como complemento al sistema de estimación mediante el modelo matemático ADM1. El modelo de estimación por BMPs parte de una extensa base de datos que permite la estimación de la producción de biogás de una gran diversidad de sustratos. Sin embargo, al basarse en los potenciales máximos de producción de metano empíricos obtenidos en ensayos en discontinuo, el valor calculado suele estar sobreestimado respecto a los valores de producción reales, aunque es útil especialmente en proyectos en estados iniciales, donde no se cuenta con datos de diseño de los reactores de digestión anaerobia tales como la velocidad de carga orgánica (VCO) o el tiempo de retención hidráulico (TRH).

2.2 Cálculo de las emisiones de GEI antes de la conversión energética

2.2.1 Fórmula de cálculo

Las emisiones de GEI procedentes de la producción y el uso de combustibles de biomasa antes de su conversión en electricidad, calefacción y refrigeración se calcula como suma de las emisiones asociadas a cada etapa, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr}$$

siendo:

E : Emisiones totales procedentes de la producción del combustible antes de la conversión energética.

e_{ec} : Emisiones procedentes de la extracción o del cultivo de las materias primas.

e_l : Emisiones anualizadas procedentes de las modificaciones en las reservas de carbono causadas por el cambio en el uso de la tierra.

e_p : Emisiones procedentes de la transformación.

e_{td} : Emisiones procedentes del transporte y la distribución. Contabiliza las emisiones correspondientes a todas las etapas de transporte (materias primas, productos intermedios, productos finales).

e_u : Emisiones procedentes del combustible durante su consumo. De acuerdo con el punto 13 de la parte B del Anexo VI de la DER II, las emisiones de CO₂ procedentes del combustible durante su consumo se considerarán nulas para los combustibles de biomasa. Las emisiones de GEI distintos del CO₂ (CH₄ y N₂O) procedentes del combustible durante su consumo se incluirán en el factor e_u.

e_{sca} : Reducción de emisiones derivada de la acumulación de carbono en el suelo mediante una mejora de la gestión agrícola. En este término se incluyen los créditos por emisiones de CH₄ y N₂O aplicables por la gestión mejorada del estiércol en el caso de utilizarlo como sustrato para la producción de biogás.

e_{ccs} : Reducción de emisiones derivada de la captura y almacenamiento geológico del CO₂.

e_{ccr} : Reducción de emisiones derivada de la captura y sustitución del CO₂.

En el cálculo de las emisiones, E, tal como se señala en el artículo 31.1.d) de la directiva, se pueden utilizar los valores por defecto desagregados del Anexo VI, parte C, para algunos factores, si existen para las cadenas de producción consideradas, y valores reales calculados de conformidad con el método establecido en el Anexo VI, parte B, para todos los demás factores.

2.2.2 Cálculo del término e_{ec}

El término e_{ec} representa las emisiones procedentes de la extracción o del cultivo de las materias primas.

Como se indica en el punto 18 de la parte B del Anexo VI de la DER II, *“se considerará que los residuos y desechos, incluidas las copas de árboles y ramas, la paja, las cortezas, peladuras y cáscaras de frutos secos, así como los desechos de la transformación, incluidos la glicerina en crudo (no refinada) y el bagazo, son materiales sin emisiones de gases de efecto invernadero en el ciclo de vida hasta su recogida, independientemente de si son transformados en productos intermedios antes de su transformación en producto final”*.

Por tanto, para todos los sustratos que tengan la consideración de residuos y desechos, el término e_{ec} será nulo.

2.2.3 Cálculo del término e_l

El término e_l representa las emisiones anualizadas procedentes de las modificaciones en las reservas de carbono causadas por el cambio en el uso de la tierra. En el caso de los residuos, no son aplicables las emisiones debido a un cambio en el uso de la tierra.

2.2.4 Cálculo del término e_{sca}

El término e_{sca} representa la reducción de emisiones de GEI debida a la mejora de la gestión agrícola, como la reducción o supresión de la labranza, sistemas mejorados de rotación de cultivos, uso de cultivos de cobertura, incluida la gestión de los desechos de los cultivos, y el uso de enmiendas orgánicas del suelo, tales como el compost o el digerido de la fermentación del estiércol.

Cuando el estiércol animal es usado como sustrato, se considera una reducción en concepto de mejora de la gestión agrícola de 1,47 g CH₄/MJ estiércol.

2.2.5 Cálculo de los términos e_{ccs} y e_{ccr}

En caso de que en la etapa de depuración a biometano se efectúen procesos de captura de CO_2 que den lugar a estas reducciones de emisiones, la calculadora permite incluir el valor de la reducción de emisiones derivada de la captura y almacenamiento geológico del CO_2 (e_{ccs}) y el de la reducción de emisiones derivada de la captura y sustitución del CO_2 (e_{ccr}). Para ello, estos valores deben ser conocidos por el usuario, expresados en $g\ CO_{2eq}$.

2.2.6 Cálculo del término e_{td}

El término e_{td} representa el total de las emisiones generadas durante todas las etapas de transporte. En la calculadora se puede realizar el cálculo de las correspondientes al transporte de los sustratos ($e_{td-residuos}$) y las correspondientes al transporte del biometano ($e_{td-biometano}$).

$$e_{td} = e_{td-residuos} + e_{td-biometano}$$

Las emisiones derivadas del transporte de los sustratos ($e_{td-residuos}$) se calculan como la suma de las emisiones de transporte de cada uno de los sustratos que componen la mezcla de alimentación del digester anaerobio ($e_{td-residuos-i}$):

$$e_{td-residuos} = \sum e_{td-residuos-i}$$

siendo:

$$e_{td-residuos-i} = V_i \times IE_i \times D_i$$

donde:

V_i : Cantidad de sustrato i (t).

IE_i : Intensidad de emisiones del transporte utilizado para el sustrato i ($g\ CO_{2eq}/tkm$).

D_i : Distancia de transporte del sustrato i (km).

La calculadora permite realizar el cálculo de las emisiones de transporte para el caso de un camión de 40 t con una carga útil de 27 t, siguiendo la metodología empleada en el archivo Excel *Biogas_and_solid_biomass_database_jrc_red-recast_v1a* que acompaña al documento del JRC “*Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions*”. Se considera que se efectúa el trayecto de ida con la carga completa y el trayecto de vuelta con el camión vacío. Según esta metodología, la intensidad de emisiones del transporte se calcula como:

$$IE = IE_{CO_2} + IE_{N_2O} + IE_{CH_4}$$

Donde

IE : Intensidad de emisiones de GEI ($g CO_{2eq}/tkm$).

IE_{CO_2} : Intensidad de emisiones de CO_2 ($g CO_2/tkm$).

IE_{N_2O} : Intensidad de emisiones de N_2O ($g CO_{2eq}/tkm$).

IE_{CH_4} : Intensidad de emisiones de CH_4 ($g CO_{2eq}/tkm$).

La intensidad de emisiones de CO_2 se calcula como:

$$IE_{CO_2} = \frac{(CCI + CCV) \times PCI \times EF_{CO_2}}{(27 - T) \times 1000}$$

Donde:

IE_{CO_2} ; Intensidad de emisiones de CO_2 ($g CO_2/tkm$).

CCI :Consumo de combustible de un camión lleno de 40 t con una carga útil de 27 t ($g gas\acute{o}leo/km$).

CCV : Consumo de combustible de un camión vacío de 40 t con una carga útil de 27 t ($g gas\acute{o}leo/km$).

PCI : Poder Calorífico Inferior del gasóleo ($43,1 MJ/kg^1$).

EF_{CO_2} : Factor de emisión de CO_2 del gasóleo, incluyendo producción y suministro ($95,1 g CO_2/MJ^2$).

T : Tara del remolque. Para el transporte de materiales sólidos, la calculadora considera un camión de plataforma que transporta un contenedor con una tara de 1 t. En el caso de que el sustrato a transportar sea líquido y/o granulado, se considera el uso de camiones cisterna especiales con el mismo rendimiento general de combustible y la misma carga útil que el camión para sólidos, pero con una tara de 2 t.

La intensidad de emisiones de N_2O se calcula como:

$$IE_{N_2O} = \frac{FE_{N_2O} \times F_{N_2O} \times 2}{(27 - T) \times 1000}$$

¹ JRC-Table A. 1. Fossil fuels properties.

² JRC- Excel Biogas_and_solid_biomass_database_jrc_red-recast_v1a que acompaña al documento del JRC "Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions".

Donde:

FE_{N2O} : Factor emisión de N_2O ($g N_2O/km$).

F_{N2O} : Factor de equivalencia en CO_2 del N_2O ($298 g CO_{2eq}/g N_2O$).

La intensidad de emisiones de CH_4 se calcula como:

$$IE_{CH_4} = \frac{FE_{CH_4} \times F_{CH_4} \times 2}{(27 - T) \times 1000}$$

Donde:

FE_{CH_4} : factor emisión de CH_4 ($g CH_4/km$)¹.

F_{N2O} : Factor de equivalencia en CO_2 del CH_4 ($25 g CO_{2eq}/g CH_4$).

Las emisiones correspondientes al transporte del biometano se calculan como:

$$e_{td-biometano} = \frac{V \times IE \times D}{PCI_{biometano} \times 10^3}$$

donde:

V : Cantidad de biometano (MJ) .

$PCI_{biometano}$: Poder calorífico inferior del metano ($50 MJ/kg^2$).

IE : Intensidad de emisiones del transporte utilizado para el biometano ($g CO_{2eq}/tkm$).

D: Distancia de transporte del biometano (km).

2.2.7 Cálculo del término e_p

Según se establece en el punto 11 del Anexo VI de la DER II, "las emisiones procedentes de la transformación, e_p , incluirán las emisiones procedentes de la transformación propiamente dicha, de los residuos y pérdidas, y de la producción de sustancias químicas o productos utilizados en transformación con inclusión de las emisiones de CO_2

¹ Ver valores en Tabla 7 de este documento

² JRC-Table A. 1. Fossil fuels properties.

correspondientes al contenido de carbono de los insumos fósiles, se produzca o no la combustión de estas durante el proceso”.

El cálculo del término e_p se desglosa de la siguiente forma:

$$e_p = e_{pp} + e_{pel} + e_{pcal} + e_{pdig}$$

Donde:

e_{pp} : Emisiones procedentes de la transformación de los sustratos en etapas anteriores a los pretratamientos considerados y a la digestión anaerobia.

e_{pel} : Emisiones procedentes del consumo de electricidad en los procesos desarrollados en la instalación hasta el proceso de digestión anaerobia. Se calcula utilizando la intensidad de emisiones de la electricidad consumida.

e_{pcal} : Emisiones procedentes del consumo de energía térmica en los procesos desarrollados en la instalación hasta el proceso de digestión anaerobia. Se calcula utilizando la intensidad de emisiones de la energía térmica consumida.

e_{pdig} : Emisiones procedentes del almacenamiento del digerido.

2.2.7.1 Cálculo de e_{pp}

El término e_{pp} representa las emisiones generadas en la transformación de los sustratos en etapas anteriores a los pretratamientos considerados y a la digestión anaerobia. Para incorporarlas en el cálculo deben ser conocidas por el usuario, expresadas en g CO_{2eq}/t sustrato.

2.2.7.2 Cálculo de e_{pel} y e_{pcal}

Los términos e_{pel} y e_{pcal} representan, respectivamente, las emisiones de GEI asociadas al consumo de electricidad y calor en los procesos antes de la conversión energética o la depuración a biometano, siempre que dicha electricidad y/o calor no provenga de las instalaciones combustión de biogás utilizadas para la producción de electricidad y/o calor como productos finales.

En la calculadora se consideran divididos a su vez en dos componentes:

$$e_{pel} = e_{pel-pret} + e_{pel-DA}$$

$$e_{pcal} = e_{pcal-pret} + e_{pcal-DA}$$

Donde:

$e_{pel-pret}$: Emisiones asociadas al consumo eléctrico en el pretratamiento de sustratos.

e_{pel-DA} : Emisiones asociadas al consumo eléctrico en la etapa de digestión anaerobia.

$e_{pcal-pret}$: Emisiones asociadas al consumo de energía térmica en el pretratamiento de sustratos.

$e_{pcal-DA}$: Emisiones asociadas al consumo de energía térmica en la etapa de digestión anaerobia.

2.2.7.2.1 Cálculo de la energía consumida en el pretratamiento de los sustratos

El pretratamiento de los sustratos constituye un proceso opcional que puede ayudar a mejorar la eficiencia del proceso de digestión anaerobia. La calculadora incluye las siguientes tecnologías:

- Pretratamientos mecánicos (reducción del tamaño de partícula):
 - Triturador de cuchillas.
 - Triturador de martillos.
 - Extrusor.
- Pretratamiento térmico (higienización):
 - Pasteurización (70°C, durante 1 h).

El valor total de energía térmica consumida en el pretratamiento de sustratos se calcula como:

$$\sum ET_i$$

Donde:

ET_i : Consumo específico de energía térmica en el pretratamiento del sustrato i (MJ/kg). BIOGEMIS realiza el cálculo teórico de la energía térmica necesaria para elevar la temperatura de un sustrato i desde la temperatura ambiente hasta los 70°C utilizando la siguiente ecuación:

$$ET_i = V_i \times 1000 \times ((1 - ST_i) \times CE_{H_2O}) + (ST_i \times CE_{sus}) \times \Delta T$$

Donde:

V_i : Cantidad de sustrato i (t).

ST_i : Sólidos totales del sustrato a pretratar (kg SV/kg sustrato).

CE_{H_2O} : Calor específico del agua (4,18 kJ/kg·°C).

CE_{sus} : Calor específico de la materia orgánica (valor genérico establecido en 1.4 kJ/kg·°C¹).

¹ Manjunatha G.S., Digambar Chavan, P. Lakshmikanthan, Lal Singh, Sunil Kumar, Rakesh Kumar, Specific heat and thermal conductivity of municipal solid waste and its effect on landfill fires, Waste Management, Volume 116, 2020, Pages 120-130, ISSN 0956-053X,

ΔT : Incremento de temperatura del sustrato desde la temperatura ambiente (temperatura media anual) hasta 70^o(°C). La temperatura media anual en la que se ubica la instalación es un campo editable por el usuario, pero la herramienta de cálculo sugiere la temperatura media anual de la provincia seleccionada.

La electricidad total consumida en el pretratamiento de sustratos se calcula como:

$$\sum V_i \times 1000 \times EE_i$$

Donde:

V_i : Cantidad de sustrato i (t).

EE_i : Consumo específico de electricidad en el pretratamiento del sustrato i (kWh/kg).

2.2.7.2.2 Cálculo de la energía consumida en el proceso de digestión anaerobia

La herramienta permite obtener unos valores de consumo de electricidad y calor en la etapa de digestión anaerobia que se calculan como un porcentaje de la energía del biogás producido, siguiendo la metodología empleada en el documento del JRC “Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions”.

$$\text{Consumo electricidad (kWh)} = V_{CH_4} \times PCI_{CH_4} \times k_{ele}$$

$$\text{Consumo calor (MJ}_{tér}) = V_{CH_4} \times PCI_{CH} \times k_{ter}$$

Donde:

V_{CH_4} : Volumen de metano producido (m^3).

PCI_{CH_4} : Poder calorífico inferior del metano ($35,85 \text{ MJ}/m^3$).

k_{ele} : Factor correspondiente a la energía eléctrica que se necesita para satisfacer las necesidades de la planta ($0,0069 \text{ kWh}/\text{MJ}_{CH_4}$)¹.

k_{ter} : Factor correspondiente a la energía térmica que se necesita para satisfacer las necesidades de la planta ($0,10 \text{ MJ}_{ter}/\text{MJ}_{CH_4}$)².

2.2.7.2.3 Cálculo de las emisiones

Las emisiones de GEI asociadas a los consumos de electricidad y calor para los procesos desarrollados en la instalación antes de la conversión energética o de la depuración a

¹ JRC-Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions

² JRC-Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions

biometano, de fuentes diferentes de la combustión del biogás, se calculan multiplicando los consumos de electricidad y/o calor por la intensidad de las emisiones de la fuente energética consumida.

$$e_{pel} = \sum V_i \times CE_{EEi} \times IE_{EEi}$$

$$e_{pcal} = \sum V_i \times CE_{ETi} \times IE_{ETi}$$

Donde:

e_{pel} ($g CO_{2eq}$): Emisiones de GEI asociadas al consumo de electricidad en los procesos desarrollados antes de la conversión energética o de la depuración a biometano (suma de $e_{pel-pret}$ y e_{pel-DA}).

e_{pcal} ($g CO_{2eq}$): Emisiones GEI asociadas al consumo de calor en los procesos desarrollados antes de la conversión energética o de la depuración a biometano (suma de $e_{pcal-pret}$ y $e_{pcal-DA}$).

V_i : Cantidad de sustrato i (t).

CE_{EEi} : Consumo eléctrico específico en el pretratamiento y la digestión anaerobia del sustrato i (kWh/t).

IE_{EEi} : Intensidad de emisiones de la energía eléctrica consumida en el pretratamiento y la digestión anaerobia del sustrato i ($g CO_{2eq}/kWh$).

CE_{ETi} : Consumo térmico específico en el pretratamiento y la digestión anaerobia del sustrato i (MJ/t).

IE_{ETi} : Intensidad de emisiones de la energía térmica consumida en el pretratamiento y la digestión anaerobia del sustrato i ($g CO_{2eq}/MJ$).

En el caso en el que la energía eléctrica o térmica procedan de la combustión del biogás, y que esta energía se produzca en las instalaciones utilizadas para la producción de electricidad y/o calor como productos finales, las emisiones CH_4 y N_2O generadas en dicho proceso de combustión se contabilizan en el término e_{ucomb} que se describirá en un apartado posterior.

2.2.7.3 Cálculo de e_{pdig}

El término e_{pdig} representa las emisiones procedentes del almacenamiento del digerido. La calculadora contempla, igual que se hace en el Anexo VI de la DER II, dos opciones en lo que al almacenamiento del digerido se refiere:

- **Almacenamiento en cerrado.** El almacenamiento en cerrado significa que el digerido resultante del proceso de digestión se almacena en un tanque hermético y se da por supuesto que el biogás adicional liberado durante el almacenamiento se recupera para la producción adicional de electricidad, calor y/o biometano. En este caso, $e_{pdig} = 0$.

- **Almacenamiento en abierto.** El almacenamiento en abierto del digerido da lugar a emisiones adicionales de CH₄ y N₂O. En este caso, el término e_{pdig} se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$e_{pdig} = e_{pdig-CH_4} + e_{pdig-N_2O}$$

2.2.7.3.1 Cálculo de $e_{pdig-CH_4}$

Las emisiones de CH₄ durante el almacenamiento en abierto del digerido se calculan siguiendo la metodología utilizada en el archivo Excel *Biogas_and_solid_biomass_database_jrc_red-recast_v1a* que acompaña al documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC, según la siguiente fórmula:

$$e_{pdig-CH_4} = \frac{PR_{CH} \times R_{SV} \times Q \times \rho_{CH_4} \times FE \times 1000}{P_{metano} \times PCI_{CH}}$$

Donde.

PR_{CH_4} : potencial residual de metano en el digerido (*L CH₄ emitidos/kg SV digerido*).

R_{SV} : Sólidos volátiles en el digerido respecto a sólidos volátiles de la mezcla inicial (*kg SV en el digerido/kg SV mezcla inicial*).

ρ_{CH_4} : densidad del metano (*0,717 kg/Nm³*)¹.

FE: Factor de equivalencia del CH₄ (*25 g CO_{2eq}/g CH₄*).

Q: cantidad de metano producido (*MJ*).

P_{metano} : Productividad de metano de la mezcla de sustratos (*L CH₄ producidos/Kg SV mezcla inicial*).

PCI_{CH_4} : poder calorífico inferior del metano (*35,85 MJ/Nm³*)².

El ratio R_{SV} se considera equivalente al ratio de carbono contenido en el digerido respecto al carbono contenido en la mezcla inicial, y se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$R_{SV} = (1 - R_C)$$

Siendo R_C el carbono contenido en el biogás respecto al carbono inicial de la mezcla de sustratos (*g C biogás/g C mezcla inicial*), que se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula::

¹ JRC-Table A. 1. Fossil fuels properties

² JRC-Table A. 1. Fossil fuels properties

:

$$R_c = \frac{\left(B \times \%_{\text{metano}} \times \rho_{\text{CH}_4} \times \frac{12}{16} \right) + \left(B \times (1 - \%_{\text{metano}}) \times \rho_{\text{CO}_2} \times \frac{12}{44} \right)}{C_m}$$

Donde:

B : biogás producido (L biogás/kg SV).

%_{metano}: contenido en metano en el biogás (L metano/L biogás).

ρ_{CH_4} :densidad del metano (0,717 Kg/Nm³)¹.

ρ_{CO_2} :densidad del CO₂ (1,977 kg/Nm³)².

C_m : Carbono en mezcla inicial sustratos (g C/kg SV).

En el caso en que la mezcla de codigestión esté compuesta exclusivamente por “Estiércol húmedo (DER II)” o “Biorresiduos (DER II)”, los valores de concentración de C teóricos de estos sustratos coinciden con los establecidos en el documento JRC *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions*, de forma que las emisiones de CH₄ durante el almacenamiento en abierto del digerido resultante coinciden con las obtenidas a partir de los factores de emisión de CH₄ establecidos en el documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC para ambos casos³, cuyo valor es de 0,1 MJ CH₄ / MJ biogás para “Estiércol húmedo (DER II)”⁴ y de 0,025 MJ CH₄ /MJ biogás para “Biorresiduos (DER II)”⁵.

2.2.7.3.2 Cálculo de e_{pdig-N2O}

La calculadora realiza el cálculo de las emisiones de N₂O generadas durante el almacenamiento en abierto del digerido considerando las emisiones directas e indirectas (por deposición del amoníaco volatilizado y óxidos de nitrógeno).

$$e_{pdig-N2O} = e_{pdig-N2Odir} + e_{pdig-N2Oind}$$

Para ello, aplica los correspondientes factores de emisión sobre el contenido en N del digerido, en el que previamente se han considerado las pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco y NO₂ en el digestor. Estos cálculos se efectúan realizando el balance de nitrógeno sobre el proceso de digestión anaerobia, teniendo en cuenta una reducción

¹ JRC-Table A. 1. Fossil fuels properties.

² JRC-Table A. 1. Fossil fuels properties.

³ En el caso de Estiércol húmedo (DER II)”, la productividad de metano debe ser de 200 l CH₄/kg SV con una composición de biogás (CH₄ = 51 %vol., CO₂ = 49 %vol). En el caso de “Biorresiduos (DER II)” la productividad de metano considerada es de 438 l CH₄/kg SV con una composición de biogás (CH₄ = 60 %vol., CO₂ = 40 %vol).

⁴ JRC-Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions (pag. 57).

⁵ JRC-Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions (pag. 63).

del 6%¹ en la concentración de N del digerido respecto a la concentración de N en la mezcla de sustratos de codigestión.

A partir de la cantidad de nitrógeno del digerido, se calculan las emisiones de N₂O utilizando las siguientes ecuaciones:

$$e_{pdig-N2Odi} = m_{dig} \times c_{N-dig} \times k_{dir N2O} \times \frac{44}{28} \times 1000 \times FE_{N2O}$$

$$e_{pdig-N2Oindir} = m_{dig} \times c_{N-dig} \times k_{indir N2O} \times P_{N2O/NH3N} \times \frac{44}{28} \times 1000 \times FE_{N2O}$$

Donde:

m_{dig} : Cantidad de digerido producido (t).

c_{N-dig} : Concentración de N en el digerido (*kg N/t digerido*).

$k_{dir N2O}$: Factor de emisión para emisiones directas de N₂O (*0,005 kg N-N₂O emitido/kg N en digerido*)².

FE_{N2O} : Factor de equivalencia en CO₂ del N₂O (*g CO_{2eq}/g N₂O*).

$k_{indir N2O}$: Factor de emisión para emisiones indirectas de N₂O (*0,01 kg N-N₂O emitido/kg N volatilizado como NH₃ y NO_x*)².

$P_{NO2/NH3NOx}$: proporción de nitrógeno del digerido que se volatiliza como NH₃ y NO_x (se considera un 20% de forma genérica para todo tipo de sustratos³, excepto en el caso de que el sustrato sea biorresiduo en cuyo caso se considera que es el 40%⁴)

Si la mezcla de codigestión está compuesta exclusivamente por “Estiércol húmedo (DER II)” o “Biorresiduos (DER II)”, los valores de concentración de N teóricos de estos sustratos coinciden con los establecidos en el documento JRC “*Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions*”, de forma que los factores de emisión de N₂O calculados coinciden con los establecidos en dicho documento: 0,066 g N₂O/MJ biogás para el estiércol⁵, y 0,032 g N₂O /MJ biogás para los biorresiduos⁶.

¹ Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions del JRC se indica que se utiliza este factor, de acuerdo con lo establecido en Schievano, 2011; Battini, 2014.

² Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions del JRC (págs 52, 58 y 64) se indica que se utiliza este factor, de acuerdo con lo establecido en la tabla 10.21 del volumen 10 del documento 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories del IPCC.)

³ Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions del JRC (pag 58).

⁴ JRC-Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions (pag 64).

⁵ JRC-Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions (Tabla 44, página 57).

⁶ JRC-Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions (tabla 47, página 62).

2.2.8 Cálculo del término e_u

En la calculadora, las emisiones de GEI procedentes del biogás durante su consumo, e_u , incluyen las emisiones correspondientes al uso del biogás para producción de electricidad y/o calor en la instalación principal de transformación energética (e_{ucomb}), las emisiones generadas por el consumo de energía en la depuración del biogás hasta biometano (e_{u-limp}) y las emisiones generadas debido al consumo de energía en la compresión del biometano (e_{u-comp})

De esta manera, el término e_u , se calcula como:

$$e_u = e_{ucomb} + e_{u-lim} + e_{u-com}$$

2.2.8.1 Cálculo de e_{ucomb}

El término e_{ucomb} corresponde a las emisiones de GEI asociadas a la etapa de producción de electricidad y/o calor a partir de biogás como productos energéticos finales.

De acuerdo con el punto 13 de la parte B del Anexo VI, las emisiones de CO₂ procedentes del combustible durante su consumo se considerarán nulas para los combustibles de biomasa. Las emisiones de GEI distintos del CO₂ (CH₄ y N₂O) procedentes del combustible durante su consumo se incluirán en el factor e_u .

2.2.8.2 Cálculo de e_{u-limp}

Las emisiones de GEI en esta etapa incluyen las emisiones derivadas del consumo energético del proceso de depuración ($e_{u-limp-e}$), y las emisiones de metano en los gases desprendidos ($e_{u-limp-CH_4}$).

$$e_{u-limp} = e_{u-limp-e} + e_{u-limp-CH_4}$$

2.2.8.2.1 Cálculo de $e_{u-limp-e}$

Las emisiones ($e_{u-limp-e}$) se calculan como suma de las emisiones de GEI derivadas del consumo de electricidad y energía térmica en el proceso de limpieza.

$$e_{u-limp-e} = e_{u-limp-EE} + e_{u-limp-ET}$$

$$e_{u-limp-EE} = V \times CE_{EE} \times IE_{EE}$$

$$e_{u-limp-ET} = V \times CE_{ET} \times IE_{ET}$$

Donde:

$e_{u-limp-EE}$ ($g CO_{2eq}$): Emisiones de GEI asociadas al consumo de electricidad en el proceso de limpieza.

$e_{u-limp-ET}$ ($g CO_{2eq}$): Emisiones de GEI asociadas al consumo de calor en el proceso de limpieza..

V : Cantidad de biogás (MJ).

CE_{EE} :Consumo eléctrico específico en la limpieza (kWh/MJ).

IE_{EE} : Intensidad de emisiones de la energía eléctrica consumida ($g CO_{2eq}/kWh$).

CE_{ET} :Consumo térmico específico en la limpieza (MJ/MJ).

IE_{ET} : Intensidad de emisiones de la energía térmica consumida ($g CO_{2eq}/MJ$).

2.2.8.2.2 Cálculo de $e_{u-limp-CH4}$

En cuanto al término $e_{u-limp-CH4}$, pueden darse las dos situaciones que se describen a continuación.

En el caso de que se realice combustión de los gases desprendidos, las emisiones de metano se consideran nulas porque son objeto de combustión.

En el caso de que no se realice combustión de los gases, las emisiones se calculan a partir del porcentaje de pérdidas de metano sobre el biometano producido, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$e_{u-limp-CH} = Q \times \%_{\text{metano}} \times P \times \rho_{CH_4} \times 1000 \times FE$$

Donde:

Q : Biogás destinado a producción de biometano (Nm^3).

$\%_{\text{metano}}$: contenido en metano en el biogás ($L \text{ metano}/L \text{ biogás}$).

P : Perdidas metano en proceso upgrading (%).

ρ_{CH_4} :densidad del metano ($0,717 \text{ Kg}/Nm^3$)¹.

FE : Factor de equivalencia del CH_4 ($25 \text{ g } CO_{2eq}/g \text{ } CH_4$).

2.2.8.3 Cálculo de e_{u-comp}

El proceso de compresión del biometano es necesario para su inyección en la red de gas natural, su uso como gas vehicular o su distribución en forma de BGNC (biometano comprimido) o BGNL (biometano licuado).

¹ JRC-Table A. 1. Fossil fuels properties

Las emisiones derivadas del consumo energético se calculan multiplicando los consumos energéticos por los correspondientes factores de emisión de la fuente de energía utilizada.

$$e_{u-comp} = E_{bm} \times CE_{EE} \times IE_{EE}$$

Donde:

e_{u-comp} ($g CO_{2eq}$): Emisiones de GEI asociadas al consumo de electricidad en el proceso de compresión del biometano.

E_{bm} : Energía de biometano (MJ).

CE_{EE} : Consumo eléctrico específico en la compresión (kWh/MJ).

IE_{EE} : Intensidad de emisiones de la energía eléctrica consumida ($g CO_{2eq}/kWh$).

La energía de biometano (E_{bm}) se calcula como:

$$E_{bm} = E_{biogás} \times (1 - P_{CH4})$$

donde:

E_{bm} : Energía de biometano (MJ).

$E_{biogás}$: Energía del biogás destinado a producir biometano (MJ).

P_{CH4} : pérdidas de metano en el proceso (v/v).

El volumen de biometano producido (V_{bm}), expresado en Nm^3 , se calcula como:

$$V_{bm} = \frac{V_{biogás} \times C_{CH4} \times (1 - P_{CH4})}{R_{biometano}}$$

Donde:

$V_{biogás}$ = Volumen de biogás destinado a producir biometano (Nm^3).

C_{CH4} = concentración de metano en el biogás (v/v).

P_{CH4} = pérdidas de metano en el proceso (v/v).

$R_{biometano}$ = riqueza en metano del biometano producido (L metano/L biometano).

2.3 Utilización de valores de emisiones por defecto

En el cálculo de las emisiones, E, tal como se señala en el artículo 31.1.d) de la DER II, se pueden utilizar los valores por defecto desagregados del Anexo VI, parte C, para algunos factores, si existen para las cadenas de producción consideradas. De los sustratos considerados en la calculadora, la DER II establece valores de emisiones por defecto desagregados en las etapas del ciclo de producción y uso del biogás para estiércol húmedo y biorresiduos, en los siguientes sistemas de producción:

Biogás para electricidad:

- Casos 1, 2 y 3, digestato en abierto y en cerrado.

Biometano para el transporte:

- Digestato en abierto y en cerrado, sin combustión y con combustión de los gases desprendidos.

Los casos 1, 2 y 3 anteriormente mencionados se refieren a los siguientes escenarios de consumo de electricidad y energía térmica dentro de la instalación:

- **Caso 1:** La energía eléctrica y térmica que se usa en la instalación proviene del motor de cogeneración.
- **Caso 2:** La energía eléctrica se consume de la red y la térmica que se usa en la instalación proviene del motor de cogeneración.
- **Caso 3:** La electricidad se consume de la red y la térmica del biogás quemado en la caldera.

La calculadora BIOGEMIS permite, para estos sistemas de producción, seleccionar los valores por defecto desagregados para las etapas que se desee y combinarlos para el cálculo con los valores reales del resto de las etapas.

2.4 Asignación de emisiones

2.4.1 Digerido

En general, el digerido se considera un residuo y, por tanto, no se le asignan emisiones.

La calculadora BIOGEMIS permite realizar asignación de emisiones al digerido. Esto no significa que deba efectuarse dicha asignación. El usuario debe conocer si en el caso concreto para el que está calculando las emisiones es posible, de acuerdo con la reglamentación que le sea de aplicación, la asignación al digerido o no¹. Y, en

¹ Por ejemplo, según el Reglamento (UE) 2019/1009, por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE, en determinadas condiciones algunos digeridos, como el obtenido de biorresiduos procedentes de la recogida selectiva de biorresiduos en origen o el obtenido de organismos o partes de organismos vivos o muertos, no procesados o

consecuencia, es el usuario quien debe decidir, en esas circunstancias, utilizar esta funcionalidad de la calculadora o no.

En las situaciones en las que el digerido resultante del proceso de digestión anaerobia (sin procesado posterior) sea considerado como coproducto, la calculadora permitirá realizar el reparto de las emisiones de GEI entre los dos productos generados: el biogás y el digerido. Cuando el digerido se someta a un tratamiento de separación sólido-líquido, y parte o toda la fracción líquida resultante se recircule al digestor anaerobio, las fracciones líquida y sólida resultantes, también se pueden considerarse como un coproducto de la digestión anaerobia.

Para la asignación de emisiones entre el biogás y el digerido, las emisiones que se asignarán son las que se producen hasta la etapa del proceso en la cual se genera el coproducto, en este caso hasta la etapa de digestión anaerobia. Por otro lado, dicha asignación de emisiones entre ambos coproductos (biogás, digerido) se realiza de forma proporcional a su contenido energético (determinado por el valor calorífico inferior en el caso de los coproductos distintos de la electricidad y el calor), tal como se establece en el punto 17 de la parte B del Anexo VI de la DER II..

Las emisiones asignadas al biogás y al digerido se calculan según las siguientes fórmulas:

$$e_{i\text{-biogás}} = e_i * F_i$$

$$e_{i\text{-digerido}} = e_i * (1-F_i)$$

donde:

e_i : emisiones correspondientes a las distintas etapas.

F_i : factor de asignación de emisiones al biogás.

En la Tabla 2 se muestran los factores de asignación de emisiones al biogás (F_i) para cada uno de los términos (e_i) que componen la fórmula de cálculo de las emisiones totales.

procesados solamente por ciertos métodos, son considerados productos fertilizantes. Si se considera que esos digeridos son productos, podría plantearse si es posible aplicar el reparto de las emisiones de GEI entre el combustible (biogás) y el coproducto (digerido).

Tabla 2. Factor de asignación de emisiones para el biogás

Término de emisiones	Factor asignación de emisiones al biogás (Fi)
e_{ec}	$r_{biogás}$
e_l	$r_{biogás}$
e_{td}	
$e_{td-residuos}$	$r_{biogás}$
$e_{td_biometano}$	$r_{biogás}$
e_p	
e_{pp}	$r_{biogás}$
e_{pel}	
$e_{pel-pret}$	$r_{biogás}$
e_{pel-DA}	$r_{biogás}$
e_{pcal}	
e_{pcal_pret}	$r_{biogás}$
$e_{pcal-DA}$	$r_{biogás}$
e_{dig}	
e_{digCH4}	$r_{biogás}$
e_{digN2O}	$r_{biogás}$
e_u	
e_{u-comb}	1
e_{u-limp}	1
e_{u-comp}	1
e_{esca}	$r_{biogás}$
e_{ccs}	1
e_{ccr}	1

Los términos ubicados en las celdas de fondo gris no tienen factor de asignación porque se calculan como sumatorio de los subtérminos dependientes.

El factor $r_{biogás}$ representa la fracción energética correspondiente al biogás y se calcula como:

$$r_{biogás} = \frac{EB}{EB + ED}$$

Donde:

$r_{biogás}$: ratio energético del biogás .

EB : energía contenida en el biogás producido (MJ).

ED : energía contenida en el digerido y sus fracciones consideradas como coproducto (MJ). En caso de no asignar emisiones al digerido, ED=0.

En el caso de que el digerido no se someta a un tratamiento de separación sólido-líquido, la energía contenida en el digerido (ED) se calcula como

$$ED = (V \times ST_d \times PCI_{ST} \times 1000)$$

Donde:

V : Cantidad de digerido (t).

ST_d : Sólidos totales del digerido (g ST/100 g digerido).

PCI_{ST} : PCI de los ST del digerido (MJ/kg ST).

La concentración de sólidos totales en el digerido (ST_d) se calcula como:

$$ST_d = (ST_m - SV_m) + (SV_m \times (1 - R_{SV}))$$

Donde:

ST_d : Concentración de sólidos totales del digerido (g ST/100 g digerido).

ST_m : Concentración de sólidos totales de la mezcla de codigestión (g ST/100 g mezcla codigestión).

SV_m : Concentración de sólidos volátiles de la mezcla de codigestión (g SV/100 g mezcla codigestión).

R_{SV} : Reducción de sólidos volátiles en la mezcla durante la codigestión anaerobia.

El ratio R_{SV} se considera equivalente al ratio de carbono contenido en el digerido respecto al carbono contenido en la mezcla inicial, y se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$R_{SV} = (1 - R_C)$$

Siendo R_C el carbono contenido en el biogás respecto al carbono inicial de la mezcla de sustratos (g C biogás/g C mezcla inicial), que se obtiene como:

$$R_C = \frac{(B \times \%_{\text{metano}} \times \rho_{\text{CH}_4} \times \frac{12}{16}) + (B \times (1 - \%_{\text{metano}}) \times \rho_{\text{CO}_2} \times \frac{12}{44})}{C_m}$$

Donde:

B : biogás producido (L biogás/kg SV).

%_{metano}: contenido en metano en el biogás (L metano/L biogás).

ρ_{CH_4} : densidad del metano ($0,717 \text{ Kg}/\text{Nm}^3$)¹.

ρ_{CO_2} : densidad del CO₂ ($1,977 \text{ kg}/\text{Nm}^3$)².

C_m : Carbono en mezcla inicial sustratos ($\text{g C}/\text{kg SV}$).

En el caso de que el digerido sí que se someta a un tratamiento de separación sólido-líquido, la energía contenida en los sólidos de las fracciones consideradas como coproducto se calcula como

$$ED = (V_{FS} \times ST_{FS} + V_{FL} \times ST_{FL}) \times PCI_{ST} \times 10$$

Donde:

V_{FS} : Cantidad de fracción sólida de digerido (t).

ST_{FS} : Sólidos totales de la fracción sólida de digerido ($\text{g ST}/100 \text{ g}$).

PCI_{ST} : PCI de los ST del digerido ($\text{MJ}/\text{kg ST}$).

V_{FL} : Cantidad de fracción líquida de digerido (t).

ST_{FL} : Sólidos totales de la fracción líquida de digerido ($\text{g ST}/100 \text{ g}$).

2.4.2 Fracciones de biogás destinadas a productos energéticos: electricidad, calor, biometano y biogás

Las emisiones de GEI asignadas al biogás producido se deben repartir entre los productos energéticos finales obtenidos a partir del mismo (electricidad/calor, biometano y biogás). Para ello, en primer lugar, se asignan dichas emisiones a las distintas fracciones del biogás utilizadas para obtener dichos productos energéticos.

$$e_{i\text{-electricidad/calor}} = e_i * f_{i\text{-electricidad/calor}}$$

$$e_{i\text{-biometano}} = e_i * f_{i\text{-biometano}}$$

$$e_{i\text{-biogás}} = e_i * f_{i\text{-biogás producto}}$$

¹ JRC-Table A. 1. Fossil fuels properties.

² JRC-Table A. 1. Fossil fuels properties.

donde:

$e_{i\text{-electricidad/calor}}$: Emisiones asignadas al biogás destinado a producción de electricidad y/o calor correspondientes a la etapa e_i .

$e_{i\text{-biometano}}$: Emisiones asignadas al biogás destinado a producción de biometano correspondientes a la etapa e_i .

$e_{i\text{-biogás}}$: Emisiones asignadas al biogás no transformado correspondientes a la etapa e_i .

En la Tabla 3 se muestran los factores de asignación de emisiones (f_i) para los términos (e_i) que componen la fórmula de cálculo de las emisiones totales y para cada producto final.

Tabla 3. Factores de asignación de emisiones a los productos finales

	Factor de asignación al biogás para electricidad/calor ($f_{i\text{-electricidad/calor}}$)	Factor de asignación al biogás para biometano ($f_{i\text{-biometano}}$)	Factor de asignación al biogás no transformado ($f_{i\text{-biogás producto}}$)
e_{ec}	r_{bel-c}	r_{bm}	r_{bnt}
e_i	r_{bel-c}	r_{bm}	r_{bnt}
e_{td}			
$e_{td\text{-residuos}}$	r_{bel-c}	r_{bm}	r_{bnt}
$e_{td\text{-biometano}}$	0	1	0
e_p			
e_{pp}	r_{bel-c}	r_{bm}	r_{bnt}
e_{pel}			
$e_{pel\text{-pret}}$	r_{bel-c}	r_{bm}	r_{bnt}
$e_{pel\text{-DA}}$	r_{bel-c}	r_{bm}	r_{bnt}
e_{pcal}			
$e_{pcal\text{-pret}}$	r_{bel-c}	r_{bm}	r_{bnt}
$e_{pcal\text{-DA}}$	r_{bel-c}	r_{bm}	r_{bnt}
e_{dig}			
e_{digCH4}	r_{bel-c}	r_{bm}	r_{bnt}
e_{digN2O}	r_{bel-c}	r_{bm}	r_{bnt}
e_u			
$e_{u\text{-comb}}$	1	0	0
$e_{u\text{-limp}}$	0	1	0
$e_{u\text{-comp}}$	0	1	0
e_{esca}	r_{bel-c}	r_{bm}	r_{bnt}
e_{ccs}	0	1	0
e_{ccr}	0	1	0

Los factores de asignación r_{bel_c} , r_{bm} y r_{bnt} se calculan según se indica a continuación:

$$r_{bel_c} = \frac{EBEL_C}{EBEL_C + EBM + EBNT}$$

$$r_{bm} = \frac{EBM}{EBEL_C + EBM + EBNT}$$

$$r_{bnt} = \frac{EBNT}{EBEL_C + EBM + EBNT}$$

Donde:

r_{bel_c} : ratio energético del biogás utilizado para producción de electricidad/calor.

r_{bm} : ratio energético del biogás utilizado para producción de biometano.

r_{bnt} : ratio energético del biogás no transformado.

EBEL_C : Energía contenida en el biogás utilizado para producir electricidad y/o calor (MJ).

EBM : Energía contenida en el biogás utilizado para producir biometano (MJ).

EBNT : Energía contenida en el biogás no transformado (MJ).

Una vez obtenidos los valores de e_i (en gCO_{2eq}) para cada producto final del biogás (electricidad/calor, biometano, biogás), se calcula el valor de E (en gCO_{2eq}) de cada uno de los productos y se divide por la energía del biogás o biometano (en MJ), según corresponda, para obtener el valor de E, expresado en gCO_{2eq}/MJ de combustible de biomasa, como indica la Directiva DER II.

2.5 Cálculo de las emisiones tras la conversión energética

Cuando el producto energético final sea calor o electricidad, las emisiones de GEI se expresarán en gramos equivalentes de CO_2 por MJ del producto energético final (calor o electricidad).

De acuerdo con lo indicado en el punto 1.d) de la parte B del Anexo VI de la DER II, en el caso de la utilización del biogás para la producción de electricidad, calefacción y refrigeración, las situaciones contempladas son:

- i) Producción de calor únicamente.
- ii) Producción de electricidad únicamente.

- iii) Producción conjunta de electricidad y/o energía mecánica y producción de calor útil.

A continuación, se indica el proceso de cálculo

- i. Producción de calor únicamente El cálculo de las emisiones totales de GEI del calor (EC_h) producido de forma individual, se realizará dividiendo las emisiones totales de gases de efecto invernadero del combustible antes de la conversión final (E) entre la eficiencia térmica de la instalación (η_h).

$$EC_h = \frac{E}{\eta_h}$$

- ii. Producción de electricidad únicamente. El cálculo de las emisiones totales de GEI de la electricidad (EC_{el}) producida de forma individual, se realizará dividiendo las emisiones totales de gases de efecto invernadero del combustible antes de la conversión final (E) entre la eficiencia eléctrica (η_{el})

$$EC_{el} = \frac{E}{\eta_{el}}$$

- iii. Producción conjunta de electricidad y/o energía mecánica y producción de calor útil. Cuando la calefacción o la refrigeración se cogeneren con electricidad, las emisiones se repartirán entre el calor y la electricidad, con independencia de que el calor se use realmente para calefacción o para refrigeración. En este caso, el cálculo de las emisiones totales de gases de efecto invernadero de la electricidad o calor (EC_{el} , EC_h) se realizará dividiendo las emisiones totales de gases de efecto invernadero del combustible antes de la conversión final (E) entre la eficiencia eléctrica o térmica de la instalación (η_{el} , η_h), según corresponda, y multiplicando en cada caso por un factor de ponderación que depende de la fracción de exergía en la electricidad y/o la energía mecánica (C_{el}) y de la eficiencia de Carnot (fracción de exergía en el calor útil, C_h).

$$EC_{el} = \frac{E}{\eta_{el}} \times \left(\frac{C_{el} \times \eta_{el}}{C_{el} \times \eta_{el} + C_h \times \eta_h} \right)$$

$$EC_h = \frac{E}{\eta_h} \times \left(\frac{C_h \times \eta_h}{C_{el} \times \eta_{el} + C_h \times \eta_h} \right)$$

El cálculo de la eficiencia de Carnot se realizará siguiendo la siguiente fórmula:

$$C_h = \frac{T_h - T_o}{T_h}$$

donde T_h es la temperatura del calor útil en el punto de entrega (K) y T_0 será la temperatura ambiente (273,15 K).

2.6 Cálculo de la reducción de emisiones

2.6.1 Cálculo de la reducción de emisiones de GEI de la calefacción y refrigeración, y electricidad generada a partir de biogás

La reducción de emisiones de GEI procedente de la calefacción y refrigeración, y electricidad generada a partir de combustibles de biomasa se calcula, de acuerdo con lo establecido en el apartado b) del punto 3 de la parte B del Anexo VI de la DER II, como sigue:

$$REDUCCIÓN = (EC_{F(h\&c,el)} - EC_{B(h\&c,el)}) / EC_{F(h\&c,el)}$$

Siendo:

$EC_{B(h\&c,el)}$: Emisiones totales procedentes del calor o la electricidad.

$EC_{F(h\&c,el)}$: Emisiones totales del combustible fósil de referencia para el calor útil o la electricidad.

Según se indica en el punto 19 del Anexo VI de la DER II:

- Para los combustibles de biomasa utilizados en la producción de electricidad, el valor del combustible fósil de referencia $EC_{F(el)}$ es 183 g CO_{2eq}/MJ de electricidad o 212 g CO_{2eq}/MJ de electricidad para las regiones ultraperiféricas (como es el caso de las Islas Canarias).
- Para los combustibles de biomasa utilizados para el calor útil, y en la producción de calefacción y/o refrigeración el valor del combustible fósil de referencia $EC_{F(h)}$ será 80 g CO_{2eq}/MJ de calor.
- Para los combustibles de biomasa utilizados en la producción de calor útil, en caso de que pueda demostrarse una sustitución física directa del carbón el valor del combustible fósil de referencia $EC_{F(h)}$ será 124 g CO_{2eq}/MJ de calor.

2.6.2 Cálculo de la reducción de emisiones del biometano como combustible para el transporte

De acuerdo con lo indicado en el apartado a) del punto 3 de la parte B del Anexo VI de la DER II, la reducción de emisiones de GEI procedente de combustibles de biomasa utilizados como combustible para el transporte se calculará utilizando la siguiente fórmula:

$$REDUCCIÓN = (EF(t) - EB) / EF(t)$$

Siendo:

EB: Emisiones totales procedentes del biometano usado como combustible para el transporte.

EF(t): Emisiones totales del combustible fósil de referencia para el transporte.

Según se indica en el punto 19 del Anexo VI, para los combustibles de biomasa utilizados como combustible de transporte el valor del combustible fósil de referencia $E_{F(t)}$ será 94 g CO_{2eq}/MJ.

2.6.3 Cálculo de la reducción de emisiones de GEI del biometano inyectado a red o transportado en camiones

La metodología del Anexo VI de la DER II no recoge un valor del combustible fósil de referencia para el caso de inyección de biometano a la red de gas o el de su transporte en camiones, cuando se desconoce el uso final.

Con el fin de proporcionar un valor de reducción de emisiones como resultado de los cálculos, que permita determinar si se cumplirían los umbrales de reducción establecidos en la DER II, en la herramienta BIOGEMIS se aplica el criterio adoptado en la *Guía IDAE para la justificación de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (actualizado 21.09.2022)* por el cual las emisiones (E) máximas que podrá tener un biometano inyectado en la red para cumplir el requisito de reducción establecido, serán aquellas que permitan lograr la reducción correspondiente al caso más restrictivo, que corresponde a la producción de calor.

Por tanto, en los proyectos que correspondan a inyección a la red de gas sin conocer el uso final del biometano, la reducción de emisiones de GEI se calculará en la herramienta utilizando el valor del combustible fósil de referencia para el calor útil, y en la producción de calefacción y/o refrigeración, es decir, ECF(h) será 80 g CO_{2eq}/MJ de calor. Asimismo, en la calculadora se considera a estos efectos una eficiencia térmica, η_h del 90%.

2.7 Cálculo de la producción de electricidad y/o calor a partir de biogás

La herramienta BIOGEMIS calcula la electricidad producida a partir del biogás destinado a transformación energética, utilizando la siguiente fórmula:

$$EE = B \times \eta_e / 3,6$$

Donde:

EE : Electricidad producida (kWh).

B : Biogás destinado a transformación energética (MJ).

η_e : Eficiencia eléctrica del equipo (%).

El calor producido a partir del biogás se calcula como:

$$C (MJ) = B (MJ) \times \eta_t$$

Donde:

C : Calor producido (MJ).

B : Biogás destinado a transformación energética (MJ).

η_t : Eficiencia térmica del equipo (%).