



---

**PRIMERA CONVOCATORIA DEL PROGRAMA DE INCENTIVOS A PROYECTOS SINGULARES DE INSTALACIONES DE BIOGÁS EN EL MARCO DEL PLAN DE RECUPERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y RESILIENCIA (ORDEN TED/706/2022)**

**GUÍA PARA LA JUSTIFICACIÓN DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

## Índice

1	Motivación	4
2	Acreditación de la reducción de emisiones de GEI en las instalaciones de biogás	4
3	Descripción de la metodología de cálculo del Anexo VI de la Directiva (EU) 2018/2001	6
3.1	Cálculo de las emisiones de GEI del biogás antes de la conversión	6
3.2	Cálculo de las emisiones de GEI del biogás tras la conversión en electricidad y/o calor y frío	8
3.3	Cálculo de la reducción de emisiones de GEI del biogás	10
4	Cálculo de la reducción de emisiones de GEI del biometano inyectado a red	11
5	Ejemplos de cálculo	12
5.1	Datos generales	13
5.2	Ejemplo 1	13
5.2.1	Descripción general _____	13
5.2.2	Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI _____	13
5.2.3	Cálculo de la reducción de emisiones _____	14
5.3	Ejemplo 2	17
5.3.1	Descripción general _____	17
5.3.2	Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI _____	17
5.3.3	Cálculo de la reducción de emisiones _____	19
5.4	Ejemplo 3	20
5.4.1	Descripción general _____	20
5.4.2	Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI _____	20
5.4.3	Cálculo de la reducción de emisiones _____	23
5.5	Ejemplo 4	26
5.5.1	Descripción general _____	27
5.5.2	Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI obteniendo un valor por defecto para la codigestión _____	27
5.5.3	Cálculo de la reducción de emisiones _____	27
5.6	Ejemplo 5	29
5.6.1	Descripción general _____	29
5.6.2	Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI _____	29
5.6.3	Cálculo de la reducción de emisiones _____	30

6	Determinación de las características de un sustrato compuesto de varias materias primas	32
7	Modelos de declaraciones responsables	35

## 1 Motivación

El apartado 8 del artículo 8 de la Orden TED/706/2022 establece que para ser subvencionables, las instalaciones deberán lograr una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de al menos un 80 % en el caso de producir electricidad o calor, e igual o superior al 65 % en el caso de producir biometano para uso en transporte a fin de que se alcance un “Coeficiente para el cálculo de la ayuda a los objetivos climáticos” del 100%, de acuerdo con lo establecido el Anexo VI del Reglamento (UE) 2021/241, de 12 de febrero de 2021 por el que se establece el Mecanismo de Recuperación y Resiliencia.

Asimismo, de acuerdo con el apartado h) del Anexo All.A1 de la Resolución de 27 de julio de 2022 del Consejo de Administración de E.P.E. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), por la que se formaliza la primera convocatoria del programa de incentivos a proyectos singulares de instalaciones de biogás, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, será necesario acreditar lo siguiente para la instalación prevista:

*“Se aportará una memoria firmada por un técnico competente donde, para las condiciones previstas para el conjunto del proyecto objeto de la solicitud, de acuerdo con la metodología del Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, se justifique que la reducción de gases de efecto invernadero es igual o superior al 80 % en el caso de producir electricidad, calor o inyección a red, e igual o superior al 65 % en el caso de producir biometano para uso en transporte (se pondrá a disposición de los interesados una guía para la realización de esta memoria). Esta memoria no será necesaria en el caso de que el proyecto se ajuste en su totalidad, en cuanto a sistema de producción y opción tecnológica, a alguno de los valores por defecto señalados en la parte A del citado anexo superando el ahorro de emisiones indicado, en cuyo caso se presentará una declaración responsable (se pondrá a disposición de los interesados en la página web del IDAE).”*

## 2 Acreditación de la reducción de emisiones de GEI en las instalaciones de biogás

En las instalaciones de biogás pueden darse los siguientes supuestos:

- a) En el caso de que **el proyecto se ajuste en su totalidad**, en cuanto a sistema de producción y opción tecnológica, a alguno de los valores por defecto señalados en la parte A del Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001 y presente un valor por defecto de reducción de emisiones de GEI del 80% o superior en el caso de producir electricidad o superior al 65 % en el caso de producir biometano para uso en transporte, según los establecidos en el citado Anexo, será suficiente con presentar **una declaración responsable de que se cumple con dicha reducción**, indicando la descripción del sustrato o sustratos y el valor o los valores por defecto (consultar modelos en el Anexo I de esta guía).

Atendiendo al Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001, los casos que sí cumplen con este requisito se detallan a continuación:

### Biogás para electricidad:

- Estiércol húmedo, casos 1, 2 y 3<sup>1</sup>, digestato en abierto y en cerrado<sup>2</sup>.

### Biometano para el transporte:

- Estiércol húmedo, digestato en abierto y en cerrado, sin combustión y con combustión de los gases desprendidos<sup>3</sup>.
- Biorresiduos, digestato en cerrado, con combustión de los gases desprendidos.

### Aclaración sobre el uso de los valores por defecto

La Comisión Europea ha aclarado que, aunque el sistema de producción de biogás y biometano relativo al estiércol en el Anexo VI es el correspondiente a “estiércol húmedo” (ya que ese es el tipo de sustrato considerado por el JRC en el cálculo de las emisiones), **los valores por defecto incluidos en el Anexo VI en el caso correspondiente a “estiércol húmedo” pueden ser aplicados a cualquier tipo de estiércol (cualquier tipo de deyección ganadera).**

Estos valores por defecto no se pueden aplicar si se realiza codigestión con un sustrato que no tenga valor por defecto. Si se trata de codigestión de materias primas que sí tienen valores por defecto en el Anexo VI puede determinarse un valor por defecto aplicable a la mezcla (ver ejemplo 4).

---

<sup>1</sup> Caso 1: Procesos en los que la electricidad y el calor necesarios para el proceso se obtienen del propio motor de cogeneración.

Caso 2: Procesos en los que la electricidad necesaria para el proceso se obtiene de la red y el calor del propio motor de cogeneración.

Caso 3: Procesos en los que la electricidad necesaria para el proceso se obtiene de la red y el calor de una caldera de biogás. Este caso es el de algunas instalaciones en las que el motor de cogeneración no se encuentra in situ y el biogás se vende (sin enriquecerlo para convertirlo en biometano).

<sup>2</sup> El almacenamiento en abierto del digestato comporta emisiones adicionales de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. La magnitud de esas emisiones varía según las condiciones ambientales, los tipos de sustrato y la eficiencia de la digestión.

El almacenamiento en cerrado significa que el digestato 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 o biometano. No hay emisiones de GEI incluidas en ese proceso.

<sup>3</sup> Sin combustión de los gases desprendidos: Se incluyen emisiones de metano debidas al metano emitido en los gases desprendidos.

Con combustión de los gases desprendidos: No se consideran emisiones de metano (el metano en los gases desprendidos, caso de haberlo, es objeto de combustión).

- b) En el caso de que **el proyecto no se ajuste en su totalidad**, en cuanto a sistema de producción y opción tecnológica, a ninguno de los valores por defecto señalados en la parte A del Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001 **o bien no presente un valor por defecto** de reducción de emisiones de GEI del 80% o superior en el caso de producir electricidad o superior al 65 % en el caso de producir biometano para uso en transporte, se aportará **una memoria firmada por un técnico competente**. En dicha memoria se deberá justificar, para las condiciones previstas para el conjunto del proyecto objeto de la solicitud, de acuerdo con la metodología del Anexo VI, que la reducción de gases de efecto invernadero es igual o superior al 80 % en el caso de producir electricidad, calor o inyección a red, e igual o superior al 65 % en el caso de producir biometano para uso en transporte.

A continuación, se explica brevemente esa metodología y se presentan varios ejemplos de cálculo de la reducción de emisiones de GEI.

### **3 Descripción de la metodología de cálculo del Anexo VI de la Directiva (EU) 2018/2001**

En el Anexo VI, al igual que en el resto de la directiva se utiliza la denominación “combustibles de biomasa” para los combustibles gaseosos o sólidos producidos a partir de biomasa. Es decir, el biogás y el biometano entran en el ámbito de los combustibles de biomasa. En la descripción de la metodología que se incluye aquí se ha transcrito lo establecido en la directiva y, por ello, aparece la expresión genérica “combustibles de biomasa” en la que, como se ha indicado, se incluyen tanto el biogás como el biometano.

#### **3.1 Cálculo de las emisiones de GEI del biogás antes de la conversión**

De acuerdo con lo indicado en el punto 1.a) de la parte B del Anexo VI, 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 calcularán con la fórmula siguiente:

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

siendo:

$E$  = las emisiones totales procedentes de la producción del combustible antes de la conversión energética.

$e_{ec}$  = las emisiones procedentes de la extracción o del cultivo de las materias primas.

$e_l$  = las emisiones anualizadas procedentes de las modificaciones en las reservas de carbono causadas por el cambio en el uso de la tierra.

$e_p$  = las emisiones procedentes de la transformación.

$e_{td}$  = las emisiones procedentes del transporte y la distribución.

$e_u$  = las emisiones procedentes del combustible durante su consumo.

$e_{sca}$  = la reducción de emisiones derivada de la acumulación de carbono en el suelo mediante una mejora de la gestión agrícola.

$e_{ccs}$  = la reducción de emisiones derivada de la captura y almacenamiento geológico del CO<sub>2</sub>.

$e_{ccr}$  = la reducción de emisiones derivada de la captura y sustitución del CO<sub>2</sub>.

No se tendrán en cuenta las emisiones procedentes de la fabricación de maquinaria y equipos.

Todos estos términos se calcularán de acuerdo con lo establecido para cada uno de ellos en el apartado B del Anexo VI.

El cálculo de las emisiones antes de la conversión, E, se realizará utilizando factores de emisión obtenidos a partir de las fuentes utilizadas por la Comisión Europea para el desarrollo de la metodología del Anexo VI, como el documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del Joint Research Centre (JRC), el archivo Excel *Biogas\_and\_solid\_biomass\_database\_jrc\_red-recast\_v1a* que acompaña a dicho documento, las fuentes citadas en ambos y los documentos del proyecto Biograce, o bien otras fuentes robustas como los informes más recientes de entidades relevantes a estos efectos tales como el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) o la Agencia Internacional de la Energía (AIE), los informes del Joint Research Centre (JRC), documentos científicos sometidos a revisión por pares procedentes de publicaciones relevantes (con factor de impacto superior a 3: IF >3), o fuentes equivalentes debidamente referenciadas.

De acuerdo con el punto 5 del Anexo VI, las emisiones procedentes de la extracción, recolección o cultivo de las materias primas,  $e_{ec}$ , incluirán las emisiones procedentes del proceso de extracción, recolección o cultivo propiamente dicho; de la recogida, el secado y el almacenamiento de las materias primas; de los residuos y pérdidas, y de la producción de sustancias químicas o productos utilizados en la extracción o el cultivo. Las estimaciones de las emisiones procedentes del cultivo y cosecha de biomasa forestal podrán elaborarse a partir de medias de tales emisiones calculadas para zonas geográficas a nivel nacional, como alternativa a la utilización de valores reales.

Tal como se recoge en el punto 18, 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 todas estas materias primas, el término  $e_{ec}$  es cero.

Según se establece en el punto 11, 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<sub>2</sub> correspondientes al contenido de carbono de los insumos fósiles, se produzca o no la combustión de estas durante el proceso.

Para calcular el consumo de electricidad no producida en la instalación de producción de combustibles de biomasa sólidos o gaseosos, se considerará que la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la producción y distribución de esa electricidad es igual a la intensidad media de las emisiones procedentes de la producción y distribución de electricidad en una región determinada. Como excepción a esta regla, los productores podrán utilizar un valor medio para la electricidad producida en una determinada instalación de producción de electricidad, si dicha instalación no está conectada a la red eléctrica. Las emisiones procedentes de la transformación incluirán las emisiones procedentes del secado de productos y materiales intermedios, cuando proceda.

Las emisiones procedentes del transporte y la distribución,  $e_{td}$ , tal como se señala en el punto 12, incluirán las emisiones procedentes del transporte de materias primas y semiacabadas y del almacenamiento y la distribución de materias acabadas. Las emisiones procedentes del transporte y la distribución que deben tenerse en cuenta para el cálculo de  $e_{ec}$  no estarán cubiertas por el término  $e_{td}$ .

De acuerdo con el punto 13, las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes del combustible durante su consumo,  $e_u$ , se considerarán nulas para los combustibles de biomasa. Las emisiones de gases de efecto invernadero distintos del CO<sub>2</sub> (CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) procedentes del combustible durante su consumo se incluirán en el factor  $e_u$ .

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.

Estas **emisiones de GEI procedentes de combustibles de biomasa,  $E$** , se expresan en **gramos equivalentes de CO<sub>2</sub> por MJ de combustible de biomasa (biogás/biometano),  $g\ CO_{2eq}/MJ$** .

### 3.2 Cálculo de las emisiones de GEI del biogás tras la conversión en electricidad y/o calor y frío

De acuerdo con lo indicado en el punto 1.d) de la parte B del Anexo VI, en el caso de la utilización del biogás para la producción de electricidad, calefacción y refrigeración, las emisiones de GEI tras la conversión energética en la electricidad y/o calefacción y refrigeración producida, se calcularán con las fórmulas siguientes:

i) En el caso de las instalaciones energéticas que produzcan solamente calor:

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

ii) En el caso de las instalaciones energéticas que produzcan solamente electricidad:

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

donde

$EC_{h,el}$  = las emisiones totales de gases de efecto invernadero del producto energético final.

$E$  = las emisiones totales de gases de efecto invernadero del combustible antes de la conversión final.

$\eta_{el}$  = la eficiencia eléctrica, definida como la electricidad producida anualmente dividida por la aportación anual de combustible, sobre la base de su contenido energético.

$\eta_h$  = la eficiencia térmica, definida como la producción anual de calor útil dividida por la aportación anual de combustible, sobre la base de su contenido energético.



iii) En el caso de electricidad o energía mecánica procedentes de instalaciones energéticas que produzcan calor útil junto con electricidad y/o energía mecánica:

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

iv) En el caso del calor útil procedente de instalaciones energéticas que produzcan calor junto con electricidad y/o energía mecánica:

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

siendo:

$EC_{h,el}$  = las emisiones totales de gases de efecto invernadero del producto energético final.

E = las emisiones totales de gases de efecto invernadero del combustible antes de la conversión final.

$\eta_{el}$  = la eficiencia eléctrica, definida como la electricidad producida anualmente dividida por la aportación anual de energía, sobre la base de su contenido energético.

$\eta_h$  = la eficiencia térmica, definida como la producción anual de calor útil dividida por la aportación anual de energía, sobre la base de su contenido energético.

$C_{el}$  = la fracción de exergía en la electricidad y/o la energía mecánica, fijada en el 100 % ( $C_{el} = 1$ ).

$C_h$  = la eficiencia de Carnot (fracción de exergía en el calor útil).

La eficiencia de Carnot  $C_h$ , para el calor útil a diferentes temperaturas, se define como:

$$C_h = \frac{T_h - T_0}{T_h}$$

siendo:

$T_h$  = la temperatura, medida en temperatura absoluta (kelvin), del calor útil en el punto de entrega.

$T_0$  = la temperatura del ambiente, fijada a 273,15 kelvin (igual a 0 °C).

Si el calor excedentario se exporta para la calefacción de edificios a una temperatura inferior a 150 °C (423,15 kelvin),  $C_h$  puede definirse de forma alternativa del modo siguiente:

$C_h$  = Eficiencia de Carnot en calor a 150 °C (423,15 kelvin), que es 0,3546.

A efectos de ese cálculo, se entenderá por:

- i) «cogeneración»: la generación simultánea de energía térmica y eléctrica y/o mecánica en un solo proceso.
- ii) «calor útil»: el calor generado para satisfacer una demanda económicamente justificable de calor a efectos de calefacción o refrigeración.

iii) «demanda económicamente justificable»: la demanda que no supera las necesidades de calor o refrigeración y que, en otro caso, sería satisfecha en condiciones de mercado.

Estas **emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la calefacción o la electricidad**, producida a partir de combustibles de biomasa, **EC**, se expresan en **gramos equivalentes de CO<sub>2</sub> por MJ del producto energético final (calor o electricidad)**, g CO<sub>2eq</sub>/MJ.

Cuando la calefacción y la refrigeración se cogeneren con electricidad, las emisiones se repartirán entre el calor y la electricidad (según lo expuesto en este apartado), con independencia de que el calor se use realmente para calefacción o para refrigeración.

### 3.3 Cálculo de la reducción de emisiones de GEI del biogás

De acuerdo con lo indicado en el punto 3 de la parte B del Anexo VI, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero procedente de combustibles de biomasa se calculará como sigue:

a) reducción de emisiones de gases de efecto invernadero procedente de combustibles de biomasa utilizados como **combustible para el transporte**:

$$REDUCCIÓN = \frac{E_{F(t)} - E_B}{E_{F(t)}}$$

siendo:

$E_B$  = las emisiones totales procedentes de combustibles de biomasa usados como combustible para el transporte.

$E_{F(t)}$  = las emisiones totales del combustible fósil de referencia para el transporte.

b) reducción de emisiones de gases de efecto invernadero procedente de la **calefacción y refrigeración, y electricidad** generada a partir de combustibles de biomasa:

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

siendo:

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

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

Según se indica en el punto 19 del Anexo VI, los valores del combustible fósil de referencia son los siguientes:

- Para los combustibles de biomasa utilizados en la producción de electricidad el valor del combustible fósil de referencia  $EC_{F(e)}$  será 183 g  $CO_{2eq}/MJ$  de electricidad o 212 g  $CO_{2eq}/MJ$  de electricidad para las regiones ultraperiféricas.
- 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.
- Para los combustibles de biomasa utilizados como combustible de transporte el valor del combustible fósil de referencia  $E_{F(t)}$  será 94 g  $CO_{2eq}/MJ$ .

#### 4 Cálculo de la reducción de emisiones de GEI del biometano inyectado a red

La metodología del Anexo VI no recoge un valor del combustible fósil de referencia para el caso de inyección de biometano a la red de gas cuando se desconoce el uso final.

Teniendo en cuenta que el biometano inyectado en la red de gas cuya utilización final no es conocida terminará siendo empleado para los distintos consumos posibles del gas de la red (calor, electricidad, cogeneración, transporte), para asegurar que cumple el requisito de reducción de emisiones se requiere que alcance el porcentaje exigido en comparación con los valores de los combustibles fósiles de referencia de todos esos consumos.

En consecuencia, 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.

A partir de las fórmulas de cálculo de reducción de emisiones puede determinarse cuál es el valor máximo de E que permite llegar al porcentaje exigido. Por ejemplo, en el caso de producción de calor, considerando una eficiencia térmica,  $\eta_h$ , del 90%, el valor de E correspondiente a la reducción del 80% con respecto al valor de 80 g  $CO_{2eq}/MJ$  del combustible fósil de referencia sería:

$$E = (EC_{F(h)} - EC_{F(h)} \times REDUCCIÓN) \times \eta_h = (80 - 80 \times 80\%) \times 90\% = 14,4 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

Realizando los cálculos análogos para los distintos usos se pueden obtener las emisiones E máximas que permitirían cumplir el requisito de reducción. Con el fin de determinar la situación más restrictiva y, por tanto, el valor del combustible fósil de referencia que debe usarse en el caso de inyección a la red, se han efectuado dichos cálculos con carácter general y comparativo, basándose en una serie de hipótesis sobre las eficiencias térmica y eléctrica así como sobre la temperatura del calor útil para la cogeneración. A continuación se muestran las hipótesis asumidas y los valores de E obtenidos:

<b>CALOR</b>	
Eficiencia térmica	90%
<b>E máxima (g <math>CO_{2eq}/MJ</math> biometano)</b>	<b>14,40</b>

<b>ELECTRICIDAD</b>	
Eficiencia eléctrica	40%
<b>E máxima (g CO<sub>2</sub>eq/MJ biometano)</b>	<b>14,64</b>
<b>COGENERACIÓN</b>	
Eficiencia eléctrica	38%
Eficiencia térmica	36%
Temperatura calor útil (Kelvin)	473,15
<b>E electricidad máxima (g CO<sub>2</sub>eq/MJ biometano)</b>	<b>19,48</b>
<b>E calor máxima (g CO<sub>2</sub>eq/MJ biometano)</b>	<b>20,14</b>
<b>TRANSPORTE</b>	
<b>E máxima (g CO<sub>2</sub>eq/MJ biometano)</b>	<b>32,90</b>

El caso más restrictivo corresponde a la producción de calor (E máxima = 14,40 g CO<sub>2</sub>eq/MJ biometano). Si se cumple para ese tipo de consumo también se cumple para todos los demás.

Por tanto, en los proyectos que correspondan a inyección a la red de gas sin conocer el uso final se calculará la reducción de emisiones de GEI utilizando el valor del combustible fósil de referencia para el calor útil, y en la producción de calefacción y/o refrigeración, es decir,  $EC_{F(h)}$  será 80 g CO<sub>2</sub>eq/MJ de calor. Asimismo, se considerará una eficiencia térmica,  $\eta_h$  del 90%.

En todos los casos en que se conozca el uso final, el cálculo de la reducción de emisiones se realizará conforme a la metodología general descrita en el apartado 3 y utilizando los valores de eficiencia térmica, eficiencia eléctrica y calor útil de la cogeneración, en su caso, correspondientes al proyecto. Las cifras presentadas en la tabla anterior tienen un carácter exclusivamente informativo para explicar cómo se ha determinado qué valor de emisiones del combustible fósil de referencia debe utilizarse para inyección a la red con uso final desconocido. No constituyen una fuente de datos para la realización de los cálculos.

## 5 Ejemplos de cálculo

Se muestran cuatro ejemplos con el fin de ilustrar el procedimiento de cálculo en distintas situaciones.

Estos ejemplos no constituyen una fuente de datos para los operadores económicos que deban realizar los cálculos de emisiones. Las fuentes que deben utilizarse para los datos y factores de emisión son las indicadas en el apartado 3.1 de este documento.

## 5.1 Datos generales

En los ejemplos que se muestran a continuación se utilizan los siguientes datos generales:

- Densidad del CH<sub>4</sub>: 0,717 kg/m<sup>3</sup>.
- Contenido energético del CH<sub>4</sub>: 50 MJ/kg = 35,85 MJ/ m<sup>3</sup>.
- Densidad del CO<sub>2</sub>: 1,977 kg/m<sup>3</sup>.
- Equivalencia en CO<sub>2</sub> del CH<sub>4</sub>: 25 g CO<sub>2eq</sub>/g CH<sub>4</sub>.
- Equivalencia en CO<sub>2</sub> del N<sub>2</sub>O: 298 g CO<sub>2eq</sub>/g N<sub>2</sub>O.

## 5.2 Ejemplo 1

Este ejemplo corresponde a un sistema de producción de biogás para electricidad para el que el valor por defecto de la reducción de emisiones de GEI establecido en el Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001 es menor del 80%.

Se considera una instalación de producción de electricidad mediante un equipo de cogeneración que utiliza biogás producido a partir de biorresiduos. La electricidad y el calor necesarios para el proceso se obtienen del propio motor de cogeneración. El digerido resultante del proceso se almacena en un almacenamiento cerrado.

El sistema de producción del Anexo VI en el que se enmarca esta instalación es el siguiente: Biorresiduos, caso 1, digestato en cerrado. El valor por defecto de la reducción de emisiones de GEI de esta cadena para producción de electricidad es 78%.

### 5.2.1 Descripción general

Los biorresiduos son transportados a la planta y procesados en el digestor. El digerido resultante se almacena en un almacenamiento cerrado y el biogás generado allí es captado e incorporado junto con el procedente del digestor. El biogás total producido se introduce en el equipo de cogeneración, del que se obtienen la electricidad y el calor necesarios para el proceso. El resto de la electricidad generada constituye el producto energético final considerado.

### 5.2.2 Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI

Datos correspondientes al suministro de materias primas

- Cantidad anual de biorresiduos: 25.534 t.
- Distancia media ponderada de transporte de los biorresiduos: 15 km.
- Factor de emisión del transporte en camiones diésel de 40 t (estándar Euro de los vehículos no conocido): 80,65 gCO<sub>2eq</sub>/t.km (fuente: JRC<sup>4</sup>).

---

<sup>4</sup> Factor de emisión para camiones de 40 t (carga máxima, 27 t; peso del tanque, 1 t) obtenido a partir de los valores recogidos 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 para los consumos y emisiones promedio de camiones de más de 32 t (considerando todos los estándares Euro).

### Datos correspondientes a la planta de producción de biogás y al equipo de cogeneración para producción de electricidad

- Contenido energético del biogás producido: 21 MJ/m<sup>3</sup>.
- Biogás producido total (digestor + almacenamiento): 4.118.723,85 m<sup>3</sup> = 88.593.750 MJ.
- Eficiencia eléctrica del equipo de cogeneración: 36%.
- Electricidad total producida: 31.893.750 MJ = 8.859.375 kWh.
- Electricidad consumida en el proceso: 984.375 kWh.
- Electricidad neta generada: 7.875.000 kWh = 28.350.000 MJ.
- Eficiencia eléctrica neta de la conversión (electricidad producida anualmente dividida por la aportación anual de combustible, sobre la base de su contenido energético),  $\eta_{el}$ : 32%.
- Factor de emisión de CH<sub>4</sub> en cogeneración: 0,017 MJ CH<sub>4</sub>/MJ biogás (fuente: JRC<sup>5</sup>).
- Factor de emisión de N<sub>2</sub>O en cogeneración: 0,00141 g N<sub>2</sub>O/MJ biogás (fuente: JRC<sup>6</sup>).

#### **5.2.3 Cálculo de la reducción de emisiones**

##### Consideraciones generales

Teniendo en cuenta que la producción se realiza a partir de residuos, las emisiones hasta su recogida son cero. Por tanto, el término  $e_{ec}$  es cero.

La electricidad y el calor necesarios para el proceso son suministrados por el equipo de cogeneración, cuyas emisiones se contabilizan en el término  $e_u$ . El digerido se almacena en un almacenamiento cerrado y el biogás generado es captado e incorporado junto con el procedente del digestor, por lo que no hay emisiones asociadas al almacenamiento del digerido. Al no haber otras operaciones que conlleven emisiones relacionadas con el proceso, en este caso el término  $e_p$  es cero.

Además, no son aplicables las emisiones debido a un cambio en el uso de la tierra ni las reducciones de emisiones derivadas de la acumulación de carbono en el suelo mediante una mejora de la gestión agrícola, de la captura y almacenamiento geológico del CO<sub>2</sub> y de la captura y sustitución del CO<sub>2</sub>. Por tanto, los términos  $e_l$ ,  $e_{sca}$ ,  $e_{ccs}$  y  $e_{ccr}$  también son cero.

Los únicos términos de la fórmula de cálculo de E requeridos para esta planta son  $e_{td}$  y  $e_u$ .

Como se ha indicado anteriormente, este ejemplo corresponde a una de las cadenas de producción para las que hay valores por defecto desagregados en el Anexo VI. Por ello, con el fin de ilustrar las distintas vías posibles para obtener los valores de las emisiones, se muestran dos opciones en relación con la determinación de los términos  $e_{td}$  y  $e_u$ .

- Opción 1: Utilización del valor por defecto desagregado incluido en el Anexo VI.

- Opción 2: Cálculo de un valor real.

<sup>5</sup> Tabla 39, página 53, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.

<sup>6</sup> Tabla 39, página 53, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.

### Cálculo de $e_{td}$

#### a) Obtención de $e_{td}$ con la opción 1 (valor por defecto desagregado)

En el caso de utilizar el valor por defecto desagregado para el transporte, este ejemplo corresponde al siguiente sistema de producción del Anexo VI: Biorresiduos, caso 1, digestato en cerrado. En la parte C de dicho anexo se indica el siguiente valor por defecto de las emisiones debidas al transporte y la distribución,  $e_{td}$ :

$$e_{td} = 0,5 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

#### b) Obtención de $e_{td}$ con la opción 2 (valor real calculado)

Si se calcula el valor real, el término  $e_{td}$  se obtiene a partir de los datos de suministro de biorresiduos:

$$e_{td} = \frac{25.534 \times 15 \times 80,65}{88.593.750} = 0,35 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

### Cálculo de $e_u$

#### a) Obtención de $e_u$ con la opción 1 (valor por defecto desagregado)

En el caso de utilizar el valor por defecto desagregado para la utilización, este ejemplo corresponde al siguiente sistema de producción del Anexo VI: Biorresiduos, caso 1, digestato en cerrado. En la parte C de dicho anexo se indica el siguiente valor por defecto de las emisiones debidas al transporte y la distribución,  $e_u$ :

$$e_u = 12,5 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

#### b) Obtención de $e_u$ con la opción 2 (valor real calculado)

Si se calcula el valor real, el término  $e_u$  se obtiene a partir de los factores de emisión de  $CH_4$  y  $N_2O$  en la cogeneración:

$$e_u = \frac{0,017 \times 1.000 \times 25}{50} + (0,00141 \times 298) = 8,92 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

### Cálculo de las emisiones totales antes de la conversión en electricidad (E)

Se muestran a continuación las distintas opciones de combinación de valores reales y por defecto:

- Valor  $e_{td}$  real y valor  $e_u$  por defecto.
- Valor  $e_{td}$  por defecto y valor  $e_u$  real.
- Valor  $e_{td}$  real y valor  $e_u$  real.

a) Valor  $e_{td}$  real y valor  $e_u$  por defecto

El valor de E se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$E = e_{td} + e_u = 0,35 + 12,5 = 12,85 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

b) Valor  $e_{td}$  por defecto y valor  $e_u$  real

El valor de E se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$E = e_{td} + e_u = 0,5 + 8,92 = 9,42 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

c) Valor  $e_{td}$  real y valor  $e_u$  real

El valor de E se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$E = e_{td} + e_u = 0,35 + 8,92 = 9,27 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

### Cálculo de la reducción de emisiones

Seguidamente se presentan los cálculos de las emisiones tras la conversión en electricidad ( $EC_{el}$ ) y de la reducción de emisiones para los tres casos considerados en el cálculo de E.

a) Valor  $e_{td}$  real y valor  $e_u$  por defecto

El valor de  $EC_{el}$  se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$EC_{el} = \frac{E}{\eta_{el}} = \frac{12,85}{32\%} = 40,16 \text{ g } CO_{2eq}/MJ \text{ de electricidad}$$

La reducción de emisiones se obtiene como se indica a continuación:

$$REDUCCIÓN = \frac{ECF_{el} - EC_{el}}{ECF_{el}} = \frac{183 - 40,16}{183} = 78,05\%$$

b) Valor  $e_{td}$  por defecto y valor  $e_u$  real

El valor de  $EC_{el}$  se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$EC_{el} = \frac{E}{\eta_{el}} = \frac{9,42}{32\%} = 29,44 \text{ g } CO_{2eq}/MJ \text{ de electricidad}$$



La reducción de emisiones se obtiene como se indica a continuación:

$$REDUCCIÓN = \frac{ECF_{el} - EC_{el}}{ECF_{el}} = \frac{183 - 29,44}{183} = 83,91\%$$

c) Valor  $e_{td}$  real y valor  $e_u$  real

El valor de  $EC_{el}$  se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$EC_{el} = \frac{E}{\eta_{el}} = \frac{9,27}{32\%} = 28,97 \text{ g } CO_{2eq}/MJ \text{ de electricidad}$$

La reducción de emisiones se obtiene como se indica a continuación:

$$REDUCCIÓN = \frac{ECF_{el} - EC_{el}}{ECF_{el}} = \frac{183 - 28,97}{183} = 84,17\%$$

### 5.3 Ejemplo 2

Este ejemplo corresponde a un sistema de producción de biogás para generación de calor, que no tiene un valor por defecto de la reducción de emisiones de GEI en el Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001.

Se considera una instalación de producción de calor mediante una caldera que utiliza biogás producido a partir de estiércol húmedo (purines vacunos con una humedad del 90%). El calor necesario para el proceso se obtiene de la propia caldera. El digerido resultante del proceso se almacena en un almacenamiento abierto.

#### 5.3.1 Descripción general

El estiércol es transportado a la planta y procesado en el digestor. El digerido resultante se almacena en un almacenamiento abierto. El biogás producido se introduce en la caldera, de la que se obtiene el calor necesario para el proceso. La electricidad utilizada procede de la red. El resto del calor generado constituye el producto energético final considerado.

#### 5.3.2 Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI

Datos correspondientes al suministro de materias primas

- Cantidad anual de estiércol húmedo: 157.920 t.
- PCI del estiércol húmedo: 1,2 MJ/kg (fuente: JRC).
- Distancia media ponderada de transporte del estiércol: 30 km.

- Factor de emisión del transporte en camiones diésel de 40 t (estándar Euro de los vehículos no conocido): 83,88 gCO<sub>2eq</sub>/t.km (fuente: JRC<sup>7</sup>).

#### Datos correspondientes a la planta de producción de biogás y a la caldera de producción de calor

- Contenido energético del biogás producido: 18,28 MJ/m<sup>3</sup>.
- Biogás producido total: 4.353.197,14 m<sup>3</sup> = 79.591.680 MJ.
- Consumo anual de electricidad: 442.176 kWh.
- Intensidad de emisiones de la electricidad consumida (dato proporcionado por el suministrador): 140 gCO<sub>2eq</sub>/kWh.
- Rendimiento de la caldera: 90%.
- Calor total producido: 71.632.512 MJ.
- Calor utilizado en el proceso: 7.959.168 MJ.
- Calor neto generado: 63.673.344 MJ.
- Eficiencia térmica neta de la conversión (calor producido anualmente dividido por la aportación anual de combustible, sobre la base de su contenido energético),  $\eta_{cal}$ : 80%.
- Factor de emisión de CH<sub>4</sub> en caldera de biogás: 0,0028 g CH<sub>4</sub>/MJ calor (fuente: JRC<sup>8</sup>).
- Factor de emisión de N<sub>2</sub>O en caldera de biogás: 0,00112 g N<sub>2</sub>O/MJ calor (fuente: JRC<sup>9</sup>).

#### Datos correspondientes al almacenamiento en abierto del digerido

- Factor de emisión de CH<sub>4</sub> en almacenamiento de digerido: 0,10 MJ CH<sub>4</sub>/MJ biogás (fuente: JRC<sup>10</sup>).
- Factor de emisión de N<sub>2</sub>O en almacenamiento de digerido: 0,066 g N<sub>2</sub>O/MJ biogás (fuente: JRC<sup>11</sup>).

#### Datos correspondientes a la gestión del estiércol

- Factor de créditos de CH<sub>4</sub> por gestión del estiércol: 1,47 g CH<sub>4</sub>/MJ estiércol (fuente: JRC<sup>12</sup>).
- Factor de créditos de N<sub>2</sub>O por gestión del estiércol: 0,028 g N<sub>2</sub>O/MJ estiércol (fuente: JRC<sup>13</sup>).

---

<sup>7</sup> Factor de emisión para camiones de 40 t (carga máxima, 27 t; peso del tanque, 2 t) obtenido a partir de los valores recogidos 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 para los consumos y emisiones promedio de camiones de más de 32 t (considerando todos los estándares Euro).

<sup>8</sup> Tabla 37, página 50, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.

<sup>9</sup> Tabla 37, página 50, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.

<sup>10</sup> Tabla 44, página 57, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.

<sup>11</sup> Tabla 44, página 57, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.

<sup>12</sup> Celda G23 de la pestaña *Proc-Wet Manure* del 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.

<sup>13</sup> Celda G24 de la pestaña *Proc-Wet Manure* del 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.

### 5.3.3 Cálculo de la reducción de emisiones

#### Consideraciones generales

Teniendo en cuenta que la producción se realiza a partir de un residuo, las emisiones hasta su recogida son cero. Por tanto, el término  $e_{ec}$  es cero.

Además, no son aplicables las emisiones debido a un cambio en el uso de la tierra ni las reducciones de emisiones derivadas de la captura y almacenamiento geológico del  $CO_2$  y de la captura y sustitución del  $CO_2$ . Por tanto, los términos  $e_l$ ,  $e_{ccs}$  y  $e_{ccr}$  también son cero.

La materia prima utilizada es estiércol húmedo, por lo que es aplicable la contabilización, dentro del término  $e_{sca}$ , de las emisiones evitadas como resultado de una mejor gestión del estiércol mediante la digestión anaerobia.

Por tanto, los términos que hay que considerar en la fórmula de cálculo de E para esta planta son  $e_{td}$ ,  $e_p$ ,  $e_u$  y  $e_{sca}$ .

#### Cálculo de $e_{td}$

El término  $e_{td}$  se obtiene a partir de los datos de suministro de estiércol:

$$e_{td} = \frac{157.920 \times 30 \times 83,88}{79.591.680} = 4,99 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

#### Cálculo de $e_p$

El término  $e_p$  se calcula considerando el consumo de electricidad en la planta y las emisiones correspondientes al almacenamiento en abierto del digerido:

$$e_p = \frac{(442.176 \times 140)}{79.591.680} + \frac{0,10 \times 1.000 \times 25}{50} + (0,066 \times 298) = 70,45 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

#### Cálculo de $e_u$

El término  $e_u$  se obtiene a partir de los datos relativos a la caldera de biogás:

$$e_u = 90\% \times ((0,0028 \times 25) + (0,00112 \times 298)) = 0,36 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

#### Cálculo de $e_{sca}$

El término  $e_{sca}$  se calcula teniendo en cuenta los datos correspondientes al estiércol y los factores de créditos aplicables por su gestión mejorada:

$$e_{sca} = ((1,47 \times 25) + (0,028 \times 298)) \times \frac{157.920 \times 1,2 \times 1000}{79.591.680} = 107,27 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

#### Cálculo de las emisiones totales antes de la conversión en calor (E)

El valor de E se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$E = e_{td} + e_p + e_u - e_{sca} = 4,99 + 70,45 + 0,36 - 107,27 = -31,46 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

### Cálculo de la reducción de emisiones

El valor de  $EC_{cal}$  se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$EC_{cal} = \frac{E}{\eta_{cal}} = \frac{-31,46}{80\%} = -39,33 \text{ g } CO_{2eq}/MJ \text{ de calor}$$

La reducción de emisiones se obtiene como se indica a continuación:

$$REDUCCIÓN = \frac{ECF_{cal} - EC_{cal}}{ECF_{cal}} = \frac{80 - (-39,33)}{80} = 149,16\%$$

## 5.4 Ejemplo 3

Este ejemplo corresponde a un caso de codigestión de dos sustratos que forman una combinación para la que no hay valores por defecto en el anexo VI de la Directiva 2018/2001.

Se considera una instalación de producción de biometano para el transporte a partir de estiércol húmedo (purines vacunos) y paja de cereal. No se realiza combustión de los gases desprendidos en la depuración y el digerido resultante del proceso se almacena en un almacenamiento abierto.

### 5.4.1 Descripción general

El estiércol y la paja son transportados a la planta y procesados en el digestor. El digerido resultante se almacena en un almacenamiento abierto. Parte del biogás producido se introduce en una caldera, de la que se obtiene el calor necesario para el proceso. El resto del biogás se introduce en la instalación de depuración para obtener el biometano y no se realiza combustión de los gases desprendidos. La electricidad utilizada en todos los procesos procede de la red. El biometano es comprimido para su uso en vehículos que se abastecen en el propio emplazamiento de producción (no hay transporte del biometano hasta otro punto de distribución). El biometano comprimido constituye el producto energético final considerado.

### 5.4.2 Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI

#### Datos correspondientes al suministro de materias primas

- Cantidad anual de estiércol húmedo: 157.920 t.
- PCI del estiércol húmedo: 1,2 MJ/kg (fuente: JRC).
- Distancia media ponderada de transporte del estiércol: 30 km.

- Factor de emisión del transporte en camiones diésel de 40 t (estándar Euro de los vehículos no conocido): 83,88 gCO<sub>2eq</sub>/t.km (fuente: JRC<sup>14</sup>).
- Cantidad anual de paja de cereal: 5.000 t.
- Distancia media ponderada de transporte de la paja: 20 km.
- Factor de emisión del transporte en camiones diésel de 40 t (estándar Euro de los vehículos no conocido): 80,65 gCO<sub>2eq</sub>/t.km (fuente: JRC<sup>15</sup>).

#### Datos correspondientes a la planta de producción de biogás y a la caldera de producción de calor

- Contenido energético del biogás producido: 18,63 MJ/m<sup>3</sup>.
- Contenido en CH<sub>4</sub> del biogás producido: 51,97%.
- Biogás producido total: 6.445.396,48 m<sup>3</sup> = 120.094.567,00 MJ.
- Consumo anual de electricidad: 779.700,06 kWh.
- Intensidad de emisiones de la electricidad consumida (dato proporcionado por el suministrador): 140 gCO<sub>2eq</sub>/kWh.
- Rendimiento de la caldera: 90%.
- Calor utilizado en el proceso: 12.009.456,70 MJ.
- Factor de emisión de CH<sub>4</sub> en caldera de biogás: 0,0028 g CH<sub>4</sub>/MJ calor (fuente: JRC<sup>16</sup>).
- Factor de emisión de N<sub>2</sub>O en caldera de biogás: 0,00112 g N<sub>2</sub>O/MJ calor (fuente: JRC<sup>17</sup>).

#### Datos correspondientes a la instalación de depuración de biometano

- Biogás introducido en la instalación de depuración: 5.729.241,32 m<sup>3</sup> = 106.750.726,22 MJ.
- Biometano producido: 2.890.975,78 m<sup>3</sup> = 103.641.481,77 MJ.
- Consumo anual de electricidad: 863.679,01 kWh.
- Intensidad de emisiones de la electricidad consumida (dato proporcionado por el suministrador): 140 g CO<sub>2eq</sub>/kWh.
- Proporción de CH<sub>4</sub> emitido con los gases desprendidos (sobre el biometano producido): 3%.

---

<sup>14</sup> Factor de emisión para camiones de 40 t (carga máxima, 27 t; peso del tanque, 2 t) obtenido a partir de los valores recogidos 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 para los consumos y emisiones promedio de camiones de más de 32 t (considerando todos los estándares Euro).

<sup>15</sup> Factor de emisión para camiones de 40 t (carga máxima, 27 t; peso del tanque, 1 t) obtenido a partir de los valores recogidos 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 para los consumos y emisiones promedio de camiones de más de 32 t (considerando todos los estándares Euro).

<sup>16</sup> Tabla 37, página 50, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.

<sup>17</sup> Tabla 37, página 50, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.

### Datos correspondientes a la instalación de compresión de biometano para uso en vehículos

- Factor de emisión de GEI correspondiente a la compresión del biometano para uso en vehículos: 2,4 g CO<sub>2eq</sub>/MJ (fuente: JRC<sup>18</sup>).

### Datos correspondientes al almacenamiento en abierto del digerido

- Sólidos totales del sustrato (mezcla de paja y estiércol) (kg seco/kg total): 12,33%.
- Sólidos volátiles del sustrato (mezcla de paja y estiércol) (kg SV/kg total): 9,13%.
- Contenido en carbono del sustrato (mezcla de paja y estiércol) sobre SV (kg C/kg SV): 49,98%.
- Rendimiento de biogás del sustrato (mezcla de paja y estiércol): 433,18 l biogás/kg SV.
- Potencial residual de metano en el digerido: 48,98 l CH<sub>4</sub>/kg SV digerido.
- Contenido en nitrógeno del sustrato (mezcla de paja y estiércol) sobre base seca (kg N/kg ST): 2,94%.
- Factor de emisión para emisiones directas de N<sub>2</sub>O: 0,005 (fuente: JRC, a partir de IPCC<sup>19</sup>).
- Proporción de nitrógeno que se volatiliza como NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub>: 40% (fuente: IPCC<sup>20</sup>).
- Factor de emisión para emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O: 0,01 (fuente: IPCC<sup>21</sup>).

### Datos correspondientes a la gestión del estiércol

- Factor de créditos de CH<sub>4</sub> por gestión del estiércol: 1,47 g CH<sub>4</sub>/MJ estiércol (fuente: JRC<sup>22</sup>).

<sup>18</sup> Se utiliza el valor de 2,4 g CO<sub>2eq</sub>/MJ para este factor tomado del informe del JRC *JEC Well-to-Tank report v5* y su archivo Excel *JEC\_WTTv5\_Appendix 1\_Pathways 1\_Oil and Gas* publicados en 2020 y, por tanto, más actualizados que los empleados en el cálculo de los valores por defecto incluidos en la Directiva 2018/2001. Para aquel cálculo se utilizó el valor de 3,3 g CO<sub>2eq</sub>/MJ que constaba en el informe *Tank-To-Wheels Report Version 4.0 - JEC Well-To-Wheels Analysis*, publicado en 2013, tal como se indica en el documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.

<sup>19</sup> En las páginas 52, 58 y 64 del documento *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 la tabla 10.21 del volumen 10 del documento *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* del IPCC).

<sup>20</sup> De forma análoga a lo indicado en la página 64 del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC para el caso del digerido de biorresiduos, en este ejemplo en que el digerido procede de una mezcla de paja y estiércol, al no disponer de un valor específico para esa situación, se toma como proporción de nitrógeno que se volatiliza como NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> el valor más alto para los casos de almacenamiento en balsa considerados en la tabla 10.22 del volumen 10 del documento *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* del IPCC).

<sup>21</sup> Se toma el valor 0,01 tal como se indica en la explicación correspondiente a la ecuación 10.27, relativa a las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O, del volumen 10 del documento *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* del IPCC).

<sup>22</sup> Celda G23 de la pestaña *Proc-Wet Manure* del 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.

- Factor de créditos de N<sub>2</sub>O por gestión del estiércol: 0,028 g N<sub>2</sub>O/MJ estiércol (fuente: JRC<sup>23</sup>).

### 5.4.3 Cálculo de la reducción de emisiones

#### Consideraciones generales

Teniendo en cuenta que la producción se realiza a partir de residuos, las emisiones hasta su recogida son cero. Por tanto, el término  $e_{ec}$  es cero.

Además, no son aplicables las emisiones debido a un cambio en el uso de la tierra ni las reducciones de emisiones derivadas de la captura y almacenamiento geológico del CO<sub>2</sub> y de la captura y sustitución del CO<sub>2</sub>. Por tanto, los términos  $e_l$ ,  $e_{ccs}$  y  $e_{ccr}$  también son cero.

Una de las materias primas utilizadas es estiércol húmedo, por lo que es aplicable la contabilización, dentro del término  $e_{sca}$ , de las emisiones evitadas como resultado de una mejor gestión del estiércol mediante la digestión anaerobia.

Tal como se indica en la página 39 del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC, en el caso de producción de biometano, el uso final considerado es la propia producción de biometano a partir del biogás.

Por tanto, los términos que hay que tener en cuenta en la fórmula de cálculo de E para esta planta son  $e_{td}$ ,  $e_p$ ,  $e_u$  y  $e_{sca}$ .

#### Cálculo de $e_{td}$

El término  $e_{td}$  se obtiene a partir de los datos de suministro de paja y estiércol:

$$e_{td} = \frac{(5.000 \times 20 \times 80,65) \times (157.920 \times 30 \times 83,88)}{103.641.481,77} = 3,91 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

#### Cálculo de $e_p$

El término  $e_p$  se calcula considerando el consumo de electricidad y calor en la planta de producción de biogás así como las emisiones correspondientes al almacenamiento en abierto del digerido.

a) Cálculo de las emisiones correspondientes al consumo de electricidad,  $e_{pel}$ .

Este valor se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$e_{pel} = \frac{779.700,06 \times 140}{103.641.481,77} = 1,05 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

b) Cálculo de las emisiones correspondientes al consumo de calor,  $e_{pcal}$ .

<sup>23</sup> Celda G24 de la pestaña *Proc-Wet Manure* del 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.

Este valor se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$e_{pcal} = \frac{12.009.456,70 \times ((0,0028 \times 25) + (0,00112 \times 298))}{103.641.481,77} = 0,05 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

c) Cálculo de las emisiones correspondientes al almacenamiento en abierto del digerido,  $e_{pdig}$ .

c.1) Cálculo de las emisiones de  $CH_4$ .

Para estos cálculos se tienen en cuenta los siguientes valores constantes:

- Peso atómico del C: 12 g/mol.
- Peso molecular del  $CH_4$ : 16 g/mol.
- Peso molecular del  $CO_2$ : 44 g/mol.

A continuación se muestran las operaciones realizadas para efectuar el balance de carbono y los datos intermedios necesarios para llevarlo a cabo. Tal como se indica 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, para este cálculo se asume que el biogás está compuesto únicamente de  $CH_4$  y  $CO_2$ .

- Contenido de C en el  $CH_4$  producido:

$$C_{CH_4} = \frac{433,18 \times 51,97\%}{1.000} \times 0,717 \times 1.000 \times \frac{12}{16} = 121,07 \text{ g/kg SV}$$

- Contenido de C en el  $CO_2$  producido:

$$C_{CO_2} = \frac{433,18 \times (100\% - 51,97\%)}{1.000} \times 1,977 \times 1.000 \times \frac{12}{44} = 112,17 \text{ g/kg SV}$$

- Reducción de C (= reducción de SV):

$$Red_c = \frac{121,07 + 112,17}{49,98\% \times 1.000} = 46,67\%$$

- Potencial residual de metano del digerido (basado en SV iniciales) ( $Nm^3 CH_4/kg$  SV iniciales):

$$PRM_{SV\text{ inic}} = \frac{48,98 \times (100\% - 46,67\%)}{1.000} = 0,026 \text{ m}^3 CH_4 /kg SV\text{ iniciales}$$

- Proporción de metano emitida durante el almacenamiento del digerido:

$$CH_4\text{ emit dig} = \frac{0,026}{\left(\frac{433,18 \times 51,97\%}{1.000}\right)} = 11,60\%$$

A partir de los datos del balance de C se obtienen las emisiones de  $CH_4$  correspondientes al almacenamiento del digerido:



$$e_{pdigCH_4} = \left( \frac{11,60\% \times 1.000}{50} \right) \times 25 \times \frac{120.094.567,00}{103.641.481,77} = 67,22 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

### c.2) Cálculo de las emisiones de N<sub>2</sub>O.

Para estos cálculos se tienen en cuenta los siguientes valores constantes:

- Peso atómico del N: 14 g/mol.
- Peso molecular del N<sub>2</sub>O: 44 g/mol.

A continuación se muestran las operaciones realizadas para calcular las emisiones directas e indirectas de nitrógeno y los datos intermedios necesarios para llevarlo a cabo. De manera análoga a lo indicado en el documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC y tal como se aplica en el archivo Excel *Biogas\_and\_solid\_biomass\_database\_jrc\_red-recast\_v1a* que lo acompaña, se asume un porcentaje de pérdidas de nitrógeno en el digester que asciende al 6%.

- Contenido de N en el digerido:

$$N_{dig} = 2,94\% \times 12,33\% \times 1.000 \times (100\% - 6\%) = 3,40 \text{ kg N digerido/t sustrato}$$

- Emisiones directas:

$$E_{N_2Odir} = 3,40 \times 0,005 \times \frac{44}{28} = 0,027 \text{ kg } N_2O/t \text{ sustrato}$$

- Emisiones indirectas:

$$E_{N_2Oindir} = 3,40 \times 40\% \times 0,01 \times \frac{44}{28} = 0,021 \text{ kg } N_2O/t \text{ sustrato}$$

A partir de los datos de emisiones directas e indirectas de nitrógeno se obtienen las emisiones de N<sub>2</sub>O correspondientes al almacenamiento del digerido:

$$e_{pdigN_2O} = (0,027 + 0,021) \times 1.000 \times 298 \times \frac{(157.920 + 5.000)}{103.641.481,77} = 22,55 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

### c.3) Cálculo de las emisiones correspondientes al almacenamiento en abierto del digerido, e<sub>pdig</sub>.

Este valor se obtiene de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$e_{pdig} = e_{pdigCH_4} + e_{pdigN_2O} = 89,77 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

### d) Cálculo de las emisiones correspondientes al proceso, e<sub>p</sub>.

Las emisiones totales del proceso se obtienen de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$e_p = e_{pel} + e_{pcal} + e_{pdig} = 1,05 + 0,05 + 89,77 = 90,87 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

### Cálculo de $e_u$

En este caso, como se ha indicado, el uso final considerado es la producción del biometano a partir del biogás. Por tanto, en este término se incluyen las correspondientes al consumo de electricidad en la instalación de depuración de biometano y al metano emitido con los gases desprendidos. Puesto que también se realiza en la propia planta la compresión del biometano para su uso en vehículos, se incluyen asimismo las emisiones procedentes de esa operación en este término.

$$e_u = \frac{863.679,01 \times 140}{103.641.481,77} + 3\% \times 1.000 \times \frac{25}{50} + 2,4 = 18,57 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

### Cálculo de $e_{sca}$

El término  $e_{sca}$  se calcula teniendo en cuenta los datos correspondientes al estiércol y los factores de créditos aplicables por su gestión mejorada:

$$e_{sca} = ((1,47 \times 25) + (0,028 \times 298)) \times \frac{157.920 \times 1,2 \times 1000}{103.641.481,77} = 82,37 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

### Cálculo de las emisiones totales (E)

El valor de E se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$E = e_{td} + e_p + e_u - e_{sca} = 3,91 + 90,87 + 18,57 - 82,37 = 30,98 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

### Cálculo de la reducción de emisiones

La reducción de emisiones se obtiene como se indica a continuación:

$$REDUCCIÓN = \frac{E_F - E}{E_F} = \frac{94 - 30,98}{94} = 67,04\%$$

## 5.5 Ejemplo 4

En este ejemplo se muestra cómo calcular la reducción de emisiones en el caso de realizar codigestión de sustratos para los que individualmente existan valores por defecto en el Anexo VI de la Directiva 2018/2001 obteniendo a partir de ellos un valor por defecto antes de la conversión para la codigestión.

Se considera una instalación de producción de electricidad mediante un equipo de cogeneración que utiliza biogás producido a partir de biorresiduos y estiércol húmedo (purines vacunos). La electricidad y el calor necesarios para el proceso se obtienen del propio motor de cogeneración. El digerido resultante del proceso se almacena en un almacenamiento abierto.

En el Anexo VI hay valores por defecto para ambos sustratos (biorresiduos y estiércol húmedo) y para ese sistema de producción (caso 1, digestato en abierto).

Para los sistemas de producción por separado, en el caso de los biorresiduos, el valor por defecto de reducción de emisiones que se indica en la parte A del Anexo VI es el 26% mientras que para el estiércol es el 94%.

### 5.5.1 Descripción general

Los biorresiduos y el estiércol son transportados a la planta y procesados en el digester. El digerido resultante se almacena en un almacenamiento abierto. El biogás producido se introduce en el equipo de cogeneración, del que se obtienen la electricidad y el calor necesarios para el proceso. El resto de la electricidad generada constituye el producto energético final considerado.

### 5.5.2 Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI obteniendo un valor por defecto para la codigestión

#### Datos correspondientes a los biorresiduos

- Cantidad anual de biorresiduos,  $I_b$ : 8.746 t.
- Humedad media anual de los biorresiduos,  $AM_b$ : 0,81.
- Humedad estándar de los biorresiduos (punto b) de la parte B del Anexo VI),  $SM_b$ : 0,76.
- Rendimiento energético de los biorresiduos (punto b) de la parte B del Anexo VI),  $P_b$ : 3,41 MJ biogás/kg biorresiduos.
- Emisiones por defecto de los biorresiduos (parte D del Anexo VI),  $E_b$ : 44 g CO<sub>2eq</sub>/MJ.

#### Datos correspondientes al estiércol

- Cantidad anual de estiércol,  $I_e$ : 123.256 t.
- Humedad media anual del estiércol,  $AM_e$ : 0,84.
- Humedad estándar del estiércol (punto b) de la parte B del Anexo VI),  $SM_e$ : 0,90.
- Rendimiento energético del estiércol (punto b) de la parte B del Anexo VI),  $P_e$ : 0,5 MJ biogás/kg estiércol.
- Emisiones por defecto del estiércol (parte D del Anexo VI),  $E_e$ : 3 g CO<sub>2eq</sub>/MJ.

#### Datos correspondientes al equipo de cogeneración

- Eficiencia eléctrica neta de la conversión (electricidad producida anualmente dividida por la aportación anual de combustible, sobre la base de su contenido energético),  $\eta_{el}$ : 32%.

### 5.5.3 Cálculo de la reducción de emisiones

#### Cálculo de los factores de ponderación de los sustratos

Los factores de ponderación de los sustratos se obtienen, según se indica en el punto b) de la parte B del Anexo VI, con la fórmula que se muestra a continuación:

$$W_n = \frac{I_n}{\sum_1^n I_n} \times \left( \frac{1 - AM_n}{1 - SM_n} \right)$$

Por tanto, el factor de ponderación de los biorresiduos es el siguiente:

$$W_b = \frac{I_b}{I_b + I_e} \times \left( \frac{1 - AM_b}{1 - SM_b} \right) = \frac{8.746}{8.746 + 123.256} \times \left( \frac{1 - 0,84}{1 - 0,90} \right) = 0,0525$$

De forma análoga, el factor de ponderación del estiércol es el siguiente:

$$W_e = \frac{I_e}{I_b + I_e} \times \left( \frac{1 - AM_e}{1 - SM_e} \right) = \frac{123.256}{8.746 + 123.256} \times \left( \frac{1 - 0,81}{1 - 0,76} \right) = 1,494$$

#### Cálculo de las partes correspondientes a las distintas materias primas en el contenido energético

Estos valores se obtienen, según se indica en el punto b) de la parte B del Anexo VI, con la fórmula que se muestra a continuación:

$$S_n = \frac{P_n \times W_n}{\sum_1^n P_n \times W_n}$$

Por tanto, la parte correspondiente a los biorresiduos en el contenido energético es la siguiente:

$$S_b = \frac{P_b \times W_b}{(P_b \times W_b) + (P_e \times W_e)} = \frac{3,41 \times 0,0525}{(3,41 \times 0,0525) + (0,5 \times 1,494)} = 0,19$$

De forma análoga, la parte correspondiente al estiércol en el contenido energético es la siguiente:

$$S_e = \frac{P_e \times W_e}{(P_b \times W_b) + (P_e \times W_e)} = \frac{0,5 \times 1,494}{(3,41 \times 0,0525) + (0,5 \times 1,494)} = 0,81$$

#### Cálculo de las emisiones por defecto para la codigestión antes de la conversión

De acuerdo con lo indicado en el punto b) de la parte B del Anexo VI, el valor por defecto de las emisiones para el biogás procedente de la codigestión antes de la conversión a electricidad se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$E = \sum_1^n S_n \times E_n = (S_b \times E_b) + (S_e \times E_e) = (0,19 \times 44) + (0,81 \times 3) = 10,92 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

#### Cálculo de la reducción de emisiones

El valor de  $EC_{el}$  se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$EC_{el} = \frac{E}{\eta_{el}} = \frac{10,92}{32\%} = 34,13 \text{ g } CO_{2eq}/MJ \text{ de electricidad}$$

La reducción de emisiones se obtiene como se indica a continuación:

$$REDUCCIÓN = \frac{ECF_{el} - EC_{el}}{ECF_{el}} = \frac{183 - 34,13}{183} = 81,35\%$$

## 5.6 Ejemplo 5

Este ejemplo corresponde a un sistema de producción de biogás para electricidad para el que no hay un valor por defecto de la reducción de emisiones de GEI establecido en el Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001.

Se considera una instalación de producción de electricidad y calor mediante un equipo de cogeneración que utiliza biogás producido a partir de lodos de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR). La electricidad y el calor necesarios para el proceso se obtienen del propio motor de cogeneración. El digerido resultante del proceso se almacena en un almacenamiento cerrado.

Como se ha señalado, no hay un valor por defecto para esta materia prima en el Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001 ya que los lodos de EDAR no son un biorresiduo puesto que, de acuerdo con lo indicado en el punto 29) del artículo 2 de dicha directiva, la definición de biorresiduo es la establecida en el artículo 3, punto 4, de la Directiva 2008/98/CE: “residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimentarios y de cocina procedentes de hogares, oficinas, restaurantes, mayoristas, comedores, servicios de restauración colectiva y establecimientos de consumo al por menor, y residuos comparables procedentes de plantas de transformación de alimentos”.

### 5.6.1 Descripción general

Los lodos se encuentran en la misma ubicación donde se sitúa planta y son procesados en el digestor. El digerido resultante se almacena en un almacenamiento cerrado y el biogás generado allí es captado e incorporado junto con el procedente del digestor. El biogás total producido se introduce en el equipo de cogeneración, del que se obtienen la electricidad y el calor necesarios para el proceso. El resto de la electricidad y el calor generados constituyen los productos energéticos finales considerados.

### 5.6.2 Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI

Datos correspondientes a la planta de producción de biogás y al equipo de cogeneración para producción de electricidad

- Eficiencia eléctrica neta de la conversión, definida como la electricidad producida anualmente dividida por la aportación anual de energía, sobre la base de su contenido energético,  $\eta_{el}$ : 32%.
- Eficiencia térmica neta de la conversión, definida como la producción anual de calor útil dividida por la aportación anual de energía, sobre la base de su contenido energético,  $\eta_h$ : 26%.
- Temperatura del calor útil en el punto de entrega,  $T_h$ : 473,15 Kelvin.
- Factor de emisión de  $CH_4$  en cogeneración: 0,017 MJ  $CH_4$ /MJ biogás (fuente: JRC<sup>24</sup>).

<sup>24</sup> Tabla 39, página 53, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.

- Factor de emisión de N<sub>2</sub>O en cogeneración: 0,00141 g N<sub>2</sub>O/MJ biogás (fuente: JRC<sup>25</sup>).

### 5.6.3 Cálculo de la reducción de emisiones

#### Consideraciones generales

Teniendo en cuenta que la producción se realiza a partir de residuos, las emisiones hasta su recogida son cero. Por tanto, el término  $e_{ec}$  es cero.

Las materias primas utilizadas se encuentran ya en la ubicación donde se sitúa la planta, por lo que no se realiza ninguna operación de transporte. En consecuencia, el término  $e_{td}$  es cero.

La electricidad y el calor necesarios para el proceso son suministrados por el equipo de cogeneración, cuyas emisiones se contabilizan en el término  $e_u$ . El digerido se almacena en un almacenamiento cerrado y el biogás generado es captado e incorporado junto con el procedente del digestor, por lo que no hay emisiones asociadas al almacenamiento del digerido. Al no haber otras operaciones que conlleven emisiones relacionadas con el proceso, en este caso el término  $e_p$  es cero.

Además, no son aplicables las emisiones debido a un cambio en el uso de la tierra ni las reducciones de emisiones derivadas de la acumulación de carbono en el suelo mediante una mejora de la gestión agrícola, de la captura y almacenamiento geológico del CO<sub>2</sub> y de la captura y sustitución del CO<sub>2</sub>. Por tanto, los términos  $e_l$ ,  $e_{sca}$ ,  $e_{ccs}$  y  $e_{ccr}$  también son cero.

El único término de la fórmula de cálculo de E requerido para esta planta es  $e_u$ .

#### Cálculo de $e_u$

El término  $e_u$  se obtiene a partir de los factores de emisión de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en la cogeneración:

$$e_u = \frac{0,017 \times 1.000 \times 25}{50} + (0,00141 \times 298) = 8,92 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

#### Cálculo de las emisiones totales antes de la conversión en electricidad (E)

El valor de E se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$E = e_u = 8,92 \text{ g } CO_{2eq}/MJ$$

<sup>25</sup> Tabla 39, página 53, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.

### Cálculo de la reducción de emisiones

Seguidamente se presentan los cálculos de las emisiones tras la conversión en electricidad ( $EC_{el}$ ) y en calor ( $EC_h$ ) y de las correspondientes reducciones de emisiones.

Para ello, es preciso obtener primero la eficiencia de Carnot (fracción de exergía en el calor útil) según se define en el punto 1.d)iv) de la parte B del Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001:

$$C_h = \frac{T_h - T_0}{T_h} = \frac{473,15 - 273,15}{473,15} = 42,27\%$$

#### a) Emisiones tras la conversión en electricidad ( $EC_{el}$ ):

El valor de  $EC_{el}$  se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula, tal como se indica en el punto 1.d)iii) de la parte B del Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001:

$$EC_{el} = \frac{E}{\eta_{el}} \times \left( \frac{\eta_{el}}{\eta_{el} + C_h \times \eta_h} \right) = \frac{8,92}{32\% + 42,27\% \times 26\%} = 20,75 \text{ g } CO_{2eq}/MJ \text{ de electr.}$$

#### b) Emisiones tras la conversión en calor ( $EC_h$ ):

El valor de  $EC_h$  se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula, tal como se indica en el punto 1.d)iii) de la parte B del Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001:

$$EC_h = \frac{E}{\eta_h} \times \left( \frac{C_h \times \eta_h}{\eta_{el} + C_h \times \eta_h} \right) = \frac{8,92 \times 42,27\%}{32\% + 42,27\% \times 26\%} = 8,77 \text{ g } CO_{2eq}/MJ \text{ de calor}$$

#### c) Reducción de emisiones tras la conversión en electricidad:

La reducción de emisiones se obtiene como se indica a continuación:

$$REDUCCIÓN = \frac{EC_{F_{el}} - EC_{el}}{EC_{F_{el}}} = \frac{183 - 20,75}{183} = 88,66\%$$

#### d) Reducción de emisiones tras la conversión en calor:

La reducción de emisiones se obtiene como se indica a continuación:

$$REDUCCIÓN = \frac{EC_{F_h} - EC_h}{EC_{F_h}} = \frac{80 - 8,77}{80} = 89,04\%$$

## **6 Determinación de las características de un sustrato compuesto de varias materias primas**

Para llevar a cabo el cálculo de las emisiones del proceso, y particularmente las relativas al almacenamiento en abierto del digerido, es preciso conocer determinadas características del sustrato utilizado.

Dichas propiedades pueden obtenerse mediante los análisis adecuados o, en caso de no disponer de mediciones analíticas específicas, a partir de datos procedentes de fuentes bibliográficas.

Dada la gran cantidad de combinaciones posibles de materias primas, habitualmente resultará difícil encontrar datos en la bibliografía que se refieran a la combinación utilizada en una determinada instalación de producción de biogás. En cambio, sí existe documentación accesible sobre las características individuales de cada una de dichas materias primas. Por ello, en general resultará más factible la determinación de las características de la mezcla de varias materias primas a partir de las propiedades individuales de las mismas.

Así, en el caso de codigestión de varias materias primas, se puede obtener una estimación que se considera suficientemente aproximada de las características del sustrato resultante de su mezcla necesarias para el cálculo de las emisiones del proceso realizando una media ponderada de las características correspondientes a cada materia prima.

A continuación se muestra un ejemplo de un caso de este tipo.

### **Materias primas empleadas en la codigestión**

- Paja de cereal.
- Estiércol húmedo (purines vacunos).

### **Biogás producido con la mezcla**

- Biogás producido total: 6.445.396,48 m<sup>3</sup>.
- Contenido en CH<sub>4</sub> del biogás producido: 51,97%.

### **Características de la paja de cereal**

- Cantidad: 5.000 t.
- Sólidos totales (kg seco/kg total): 86%.
- Sólidos volátiles (kg SV/kg total): 76,50%.
- Contenido en carbono sobre SV (kg C/kg SV): 52,81%.
- Potencial residual de metano en el digerido: 100 l CH<sub>4</sub>/kg SV digerido.
- Contenido en nitrógeno sobre base seca (kg N/kg ST): 0,50%.

### **Características del estiércol húmedo**

- Cantidad: 157.920 t.
- Sólidos totales (kg seco/kg total): 10%.
- Sólidos volátiles (kg SV/kg total): 7%.
- Contenido en carbono sobre SV (kg C/kg SV): 49%.
- Potencial residual de metano en el digerido: 35 l CH<sub>4</sub>/kg SV digerido.
- Contenido en nitrógeno sobre base seca (kg N/kg ST): 3,60%.

### **Determinación de las características del sustrato resultante de la mezcla**



Seguidamente se muestran los cálculos necesarios para determinar las características del sustrato resultante de la mezcla.

- Sólidos totales (kg seco/kg total):

$$ST = \frac{(5.000 \times 86\%) + (157.920 \times 10\%)}{(5.000 + 157.920)} = 12,33\%$$

- Sólidos volátiles (kg SV/kg total):

$$SV = \frac{(5.000 \times 76,50\%) + (157.920 \times 7\%)}{(5.000 + 157.920)} = 9,13\%$$

- Contenido en carbono sobre SV (kg C/kg SV):

$$C = \frac{(5.000 \times 76,50\% \times 52,81\%) + (157.920 \times 7\% \times 49\%)}{(5.000 + 157.920) \times 9,13\%} = 49,98\%$$

- Potencial residual de metano en el digerido (l CH<sub>4</sub>/kg SV digerido):

Para obtener este valor es preciso conocer la reducción de C (=reducción de SV) correspondiente al sustrato formado por la mezcla y también las correspondientes a cada una de las materias primas individuales. El cálculo de la reducción de C se realiza de la forma indicada en el Ejemplo 3, partiendo de los valores de contenido en CH<sub>4</sub> del biogás producido, contenido en carbono del sustrato sobre SV y rendimiento de biogás del sustrato. En este caso, por tanto, son necesarios los siguientes datos:

- Contenido en CH<sub>4</sub> del biogás producido a partir de paja: 54%.
- Contenido en carbono de la paja sobre SV (kg C/kg SV): 52,81%.
- Rendimiento de biogás de la paja: 547 l biogás/kg SV.
- Contenido en CH<sub>4</sub> del biogás producido a partir de estiércol: 51%.
- Contenido en carbono del estiércol sobre SV (kg C/kg SV): 49%.
- Rendimiento de biogás del estiércol: 393,80 l biogás/kg SV.
- Contenido en CH<sub>4</sub> del biogás producido a partir de la mezcla: 51,97%.
- Contenido en carbono de la mezcla sobre SV (kg C/kg SV): 49,98%.
- Rendimiento de biogás de la mezcla: 433,18 l biogás/kg SV.

Como se ha indicado, a partir de estos datos y siguiendo el procedimiento descrito en el Ejemplo 3 se calculan las reducciones de C correspondientes a la paja, el estiércol y la mezcla:

- Reducción de C (=reducción de SV) de la paja: 55,77%.
- Reducción de C (=reducción de SV) del estiércol: 43,27%
- Reducción de C (=reducción de SV) de la mezcla: 46,67%.

El potencial residual de metano en el digerido de la mezcla se obtiene de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$PRM = \frac{(5.000 \times 76,50\% \times 100) \times (100\% - 55,77\%) + (157.920 \times 7\% \times 35) \times (100\% - 43,27\%)}{9,13\% \times (100\% - 46,67\%)}$$

$$= 48,98 \text{ l CH}_4 / \text{kg SV}$$

- Contenido en nitrógeno sobre base seca (kg N/kg ST):

$$N = \frac{(5.000 \times 86\% \times 0,50\%) + (157.920 \times 10\% \times 3,60\%)}{(5.000 + 157.920) \times 12,33\%} = 2,94\%$$

**7 Modelos de declaraciones responsables**

**DECLARACIÓN RESPONSABLE RELATIVA AL CUMPLIMIENTO DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE AL MENOS UN 80% EN LA INSTALACIÓN (BIOGÁS PARA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD)**

Don/Doña....., de Nacionalidad: ....., con N.I.F./N.I.E./:....., en su calidad de ....., con domicilio a efectos de comunicaciones en:....., Localidad:....., CP:....., Provincia:....., Teléfono:....., Fax:....., correo electrónico: ....., en su propio nombre y en representación de ....., con NIF número ....., domiciliada en:....., Nº:....., Localidad: ....., CP: ....., Provincia:....., Teléfono: ....., Fax: ....., correo electrónico: .....

La representación se ostenta en virtud del documento/acto: ..... (indicar el documento o acto por el que se otorga la facultad de representación)

**DECLARA**

1. Que se van a utilizar en la instalación sustratos que tienen un valor por defecto de reducción de emisiones de GEI del 80 % o superior según los indicados para producción de electricidad establecidos en el anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, teniendo en cuenta el sistema de producción y resto de condiciones que determinan dicho valor por defecto.
2. Que dichos sustratos y sus correspondientes valores por defecto son los siguientes:

Sistema de producción de biogás (según Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001)		Opción tecnológica (según Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001)	Valor por defecto de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (según Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001)
Denominación	Caso (1, 2 o 3)		

En ..... a ... de ..... de .....

(Firma del solicitante o de representante de la entidad)

**DECLARACIÓN RESPONSABLE RELATIVA AL CUMPLIMIENTO DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE AL MENOS UN 65% EN LA INSTALACIÓN (SOLO BIOMETANO PARA TRANSPORTE)**

Don/Doña.....  
 ....., de Nacionalidad: .....,  
 con N.I.F./N.I.E./:....., en su calidad de ....., con domicilio a efectos de comunicaciones en:.....  
 Localidad:....., CP:....., Provincia:.....,  
 Teléfono....., Fax:....., correo electrónico: ....., en su propio nombre y en representación de ..... con NIF número ..... domiciliada en:....., Nº:....., Localidad: .....CP: ..... Provincia:....., Teléfono: ..... Fax: ..... correo electrónico: .....

La representación se ostenta en virtud del documento/acto: ..... (indicar el documento o acto por el que se otorga la facultad de representación)

**DECLARA**

1. Que se van a utilizar en la instalación sustratos que tienen un valor por defecto de reducción de emisiones de GEI del 65 % o superior según los establecidos en el anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, teniendo en cuenta el sistema de producción y resto de condiciones que determinan dicho valor por defecto. Que dichos sustratos y sus correspondientes valores por defecto son los siguientes:

Sistema de producción de biometano (según Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001)	Opción tecnológica (según Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001)	Valor por defecto de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (según Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001)

En ..... a ... de ..... de .....

*(Firma del solicitante o de representante de la entidad)*

