iRedes de calor y frío

ORDEN TED/707/2022, de 21 de julio, POR LA QUE SE APRUEBAN LAS BASES REGULADORAS PARA LAS CONVOCATORIAS DE LOS PROGRAMAS DE INCENTIVOS A PROYECTOS DE PRODUCCIÓN DE REDES DE CALOR Y FRIO QUE UTILICEN FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE, EN EL MARCO DEL PLAN DE RECUPERACIÓN, TRANSFORMACIÓN Y RESILIENCIA – FINANCIADO POR LA UNIÓN EUROPEA_NEXTGENERATIONEU.

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 biomasa o biogás 5

3 Descripción de la metodología de cálculo del Anexo VI de la Directiva (EU) 2018/2001 7

3.1 Cálculo de las emisiones de GEI de la biomasa o el biogás antes de la conversión 7

3.2 Cálculo de las emisiones de GEI de la biomasa o el biogás tras la conversión en electricidad y/o calor9

3.3 Cálculo de la reducción de emisiones de GEI de la biomasa o el biogás 11

4 Ejemplos de cálculo 13

4.1 Datos generales 13

4.2 Ejemplo 1. Producción de energía térmica a partir de pellets 13

4.2.1 Descripción general 13

4.2.2 Datos necesarios para el cálculo de reducción de emisiones de GEI 13

4.2.3 Cálculo de la reducción de emisiones 14

4.3 Ejemplo 2. Producción de electricidad a partir de biogás obtenido con biorresiduos 17

4.3.1 Descripción general 18

4.3.2 Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI 18

4.3.3 Cálculo de la reducción de emisiones 18

4.4 Ejemplo 3. Producción de energía térmica a partir de biogás obtenido con estiércol 21

4.4.1 Descripción general 21

4.4.2 Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI 21

4.4.3 Cálculo de la reducción de emisiones 22

4.5 Ejemplo 4. Cogeneración a partir de biogás obtenido con biorresiduos y estiércol húmedo 23

4.5.1 Descripción general 24

4.5.2 Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI obteniendo un valor por defecto para la codigestión 24

4.5.3 Cálculo de la reducción de emisiones 24

4.6 Ejemplo 5. Cogeneración a partir de biogás obtenido con lodos de EDAR 26

4.6.1 Descripción general 26

4.6.2 Datos necesarios para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI 26

4.6.3 Cálculo de la reducción de emisiones 26
5 Determinación de las características de un sustrato compuesto de varias materias primas 29
6 Modelo de declaración responsable 32

1 Motivación

El apartado 3.2 del Anexo I de la Resolución de 18 de diciembre de 2025 del Consejo de Administración de E.P.E. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), por la que se formaliza la segunda convocatoria del programa de incentivos para redes de calor y frío que utilicen fuentes de energía renovable, cuyas bases reguladoras se publicaron en la Orden TED/707/2022 de 21 de julio, las instalaciones de producción de energía que utilicen biomasa, deberán lograr una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de al menos un 80 %, 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 Anexo II 1.4.a de la segunda convocatoria del programa de incentivos, se deberá aportar para la instalación prevista:

"Memoria firmada por un técnico competente o empresa instaladora 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 %. 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 biomasa o biogás

En las instalaciones pueden darse los siguientes supuestos:

a) En el caso de que **todos los combustibles utilizados en el proyecto se ajusten 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 calor, 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 combustible o de los combustibles 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:

Astillas de madera:

- de desechos forestales (distancia de transporte: 1 a 2.500 km).
- de madera de monte bajo de rotación corta/ álamo-con fertilización (distancia de transporte: 1 a 2.500 km).
- de madera de monte bajo de rotación corta/ álamo-sin fertilización (distancia de transporte: 1 a 2.500 km).
- de madera de tronco (distancia de transporte: 1 a 2.500 km).
- de madera de desechos industriales (distancia de transporte: 1 a 10.000 km).

Pellets de madera:

- Si se fabrican en procesos en los que para generar el calor de la instalación de producción de pellets se utiliza una caldera de cogeneración alimentada con astillas desecadas:
    - Briquetas o pellets de madera procedentes de monte bajo de rotación corta/ álamo-sin fertilización (distancia de transporte:1 a más de 10.000 km)
    - Madera de tronco (distancia de transporte: 1 a más de 10.000 km).
    - Briquetas o pellets de madera procedentes de desechos de la industria maderera (distancia de transporte: 1 a más de 10.000 km)
- Si se fabrican en procesos en los que para generar el calor de la instalación de producción de pellets se utiliza una caldera de astillas de madera alimentada con astillas desecadas:
    - Briquetas o pellets de madera procedentes de desechos de la industria maderera (distancia de transporte: 1 a 10.000 km)

Procesos agrícolas:

- Desechos agrícolas con una densidad < 0,2 t/m3 (este grupo engloba materiales tales como las balas de paja, cáscaras de avena, cascarillas de arroz y balas de bagazo de caña de azúcar, siendo esta lista no exhaustiva), distancia de transporte 1 a 2.500 km.
- Desechos agrícolas con una densidad > 0,2 t/m3 (este grupo engloba materiales tales como los restos de mazorcas de maíz, cáscaras de frutos secos, cáscaras de soja, cáscaras de palmiste, siendo esta lista no exhaustiva), distancia de transporte 1 a 10.000 km.
- Gránulos de paja (distancia de transporte 1 a 10.000 km).
- Briquetas de bagazo (distancia de transporte 500 a más de 10.000 km)

Biogás para electricidad:

Estiércol húmedo, casos 1, 2 y 3[1], digestato en abierto y en cerrado[2].

Aclaración sobre el uso de los valores por defecto

La Comisión Europea ha aclarado que, aunque el sistema de producción de biogás 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).

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 calor y/o calor, 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 %.

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

[1] 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).

[2] El almacenamiento en abierto del digestato comporta emisiones adicionales de CH_4 y N_2O. 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.

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 entra 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 incluye el biogás.

3.1 Cálculo de las emisiones de GEI de la biomasa o el biogás antes de la conversión

Este cálculo deberá ser certificado por un técnico competente por parte del suministrador de combustibles.

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_2.

e_{ccr} = la reducción de emisiones derivada de la captura y sustitución del CO_2.

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.

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.

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.

Se adjuntan los enlaces a documento JRC y archivo Excel que acompaña a dicho documento:

https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC104759

https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/biogas_and_solid_biomass_database_jrc_red-recast_v1a_july2017_protected.xlsx

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_2 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_2 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_2 (CH_4 y N_2O) procedentes del combustible durante su consumo se incluirán en el factor e_u. Para dichas emisiones se podrán utilizar los factores definidos en la tabla 86 del apartado Additional INFO nr. 4: Non-CO2 GHG emissions from the combustion of solid biomass fuels del documento Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions del JRC que se recogen a continuación.

	Valor $gCO2_{eq}$/MJ de combustible
Combustión de astillas de madera	0,41
Combustión de pellets de madera	0,25
Combustión de residuos agrícolas	0,24

Estas **emisiones de GEI procedentes de combustibles de biomasa, E**, se expresan en **gramos equivalentes de CO_2 por MJ de combustible de biomasa (incluye biogás)**, g CO_{2eq}/MJ.

3.2 Cálculo de las emisiones de GEI de la biomasa o el biogás tras la conversión en electricidad y/o calor

Este cálculo deberá ser realizado por el técnico que realice la memoria de justificación del cumplimiento de la reducción de emisiones.

De acuerdo con lo indicado en el punto 1.d) de la parte B del Anexo VI, en el caso de la utilización de combustibles de biomasa 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.

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

η_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.

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

η_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_2 por MJ del producto energético final (calor o electricidad)**, g CO_{2eq}/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 de la biomasa o el 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:

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 $EC_{F(el)}$ 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 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.

4.1 Datos generales

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

- Densidad del CH_4: 0,717 kg/m^3.
- Contenido energético del CH_4: 50 MJ/kg = 35,85 MJ/ m^3.
- Densidad del CO_2: 1,977 kg/m^3.
- Equivalencia en CO_2 del CH_4: 25 g CO_{2eq}/g CH_4.
- Equivalencia en CO_2 del N_2O: 298 g CO_{2eq}/g N_2O.

4.2 Ejemplo 1. Producción de energía térmica a partir de pellets

4.2.1 Descripción general

Este ejemplo corresponde a una cadena de producción para la 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%. En concreto, se considera una instalación de producción de calor a partir de pellets fabricados con restos forestales. El sistema de producción del Anexo VI en el que se enmarca esta instalación es el siguiente:

Briquetas o pellets de madera procedentes de desechos forestales (caso 2a, distancia de transporte de1 a 500 km). El valor por defecto de la reducción de emisiones de GEI de esta cadena para producción de calor es 72%.

4.2.2 Datos necesarios para el cálculo de reducción de emisiones de GEI

<u>Datos previstos correspondientes al suministro de materias primas</u>

- Cantidad anual de materias primas recolectadas: 68.674 t.
- PCI de las materias primas recolectadas (50% humedad): 7,5 MJ/kg.
- Factor de emisión del proceso de recolección de restos forestales: 1,16 gCO_{2eq}/MJ (fuente JRC).

<u>Datos previstos correspondientes a la planta de producción de pellets</u>

- Producción anual de pellets: 30.640 t
- Poder calorífico inferior en base seca (PCI de los pellets): 18,2 MJ/kg.
- Consumo anual de electricidad: 6.335.957 kWh.
- Intensidad de emisiones de la electricidad consumida (dato proporcionado por el suministrador): 140 gCO_{2eq}/kWh.
- Biomasa (residuos de madera) utilizada en la producción de calor para el proceso:9.594 t
- PCI de la biomasa utilizada en la producción de calor para el proceso:18 MJ/kg
- Factor de emisión de la biomasa utilizada en la producción de calor para el proceso: 0,41 g CO_{2eq}/MJ (fuente JRC).
- Cantidad anual de pellets ensacados en bolsas de 10 kg: 14 t
- Cantidad anual de pellets ensacados en bolsas de 15 kg: 11.282 t

- Factor de emisión correspondiente al embalaje utilizado en el proceso de ensacado en bolsas de 10 kg: 9.044 gCO_{2eq} /t pellets (fuente: Ecoinvent).
- Factor de emisión correspondiente al embalaje utilizado en el proceso de ensacado en bolsas de 15 kg: 7.980 gCO_{2eq} /t pellets (fuente: Ecoinvent).

Datos previstos de transporte de materias primas y pellets.

- Cantidad anual de materias primas transportadas en camiones diésel de 40 t: 68.674 t
- Distancia media ponderada de transporte de las materias primas: 62 km.
- Distancia de transporte de los pellets a la instalación de distribución (almacén): 150 km.
- Distancia de transporte de los pellets a las instalaciones de producción de calor: 20 km.
- Factor de emisión del transporte en camiones diésel de 40 t (estándar Euro de los vehículos no conocido): 77,66 gCO2eq/t.km (fuente: JRC[3]).
- Factor de emisión del transporte en camiones diésel Euro 6 de 12 t: 215,06 gCO_{2eq}/t.km (fuente:EEA/EMEP[4]

Datos previstos de la instalación de producción de calor.

- Eficiencia térmica de la instalación: η_h = 85%

4.2.3 Cálculo de la reducción de emisiones

Consideraciones generales

Teniendo en cuenta que la producción se realiza a partir de residuos, en este caso las emisiones hasta su recogida son cero. Las emisiones correspondientes al proceso de recolección se incluirán dentro del término e_p[5] . 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 acumulación de carbono en el suelo mediante una mejora de la gestión agrícola, de la captura y almacenamiento geológico del CO2 y de la captura y sustitución del CO2. 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_p, e_{td} y e_u

Cálculo de e_p

[3] Factor de emisión para camiones de 40 t (carga máxima, 27 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).

[4] Factor de emisión para camiones de 12 t (carga máxima, 6 t) obtenido a partir de los valores de consumos y emisiones para camiones Euro 6 de 7,5 a 16 t, recogidos en las tablas 3.21, 3.27, 3.47 y 3.48 del documento Air pollutant emission inventory guidebook 2019 – Update Oct. 2020 de la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) y el Programa Europeo de Seguimiento y Evaluación (EMEP).

[5] Las emisiones del proceso de recolección se incluyen en el término e_p, tal como hace el JRC

El término e_p se calcula considerando el proceso de recolección de las materias primas, los consumos de electricidad y calor en la planta de producción, así como las emisiones correspondientes al embalaje utilizado en el proceso de ensacado:

$$e_p = \frac{(68.674 \times 1.000 \times 7{,}5 \times 1{,}16) + 6.335.957 \times 140)}{(30.640 \times 1.000) \times 18{,}2} + \frac{(9.594 \times 1.000 \times 18 \times 0{,}41) + (14 \times 9.044 + 11.282 \times 7.980))}{(30.640 \times 1.000) \times 18{,}2} = 2{,}95\ g\ CO_{2eq}/MJ$$

Cálculo de e_{td}

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, a continuación, se muestran dos opciones en relación con la determinación del término de emisiones del transporte, e_{td}:

- Opción 1: Utilización del valor por defecto desagregado incluido en el Anexo VI.
- Opción 2: Cálculo de un valor real.

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: Briquetas o pellets de madera procedentes de desechos forestales (caso 2a). En la parte C de dicho anexo, para una distancia de transporte de 1 a 500 km, se indica el siguiente valor por defecto de las emisiones debidas al transporte y la distribución, e_{td}:

$$e_{td} = 3{,}6\ gCO2eq/MJ$$

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

En el caso de calcular el valor real, hay que tener en cuenta que el término e_{td} consta de dos partes: la correspondiente al transporte de materias primas (e_{tMP}) y la correspondiente al transporte y la distribución del combustible (e_{tdC}). La parte e_{tMP} se calcula a partir de los datos de transporte de materias primas:

$$e_{tMP} = \frac{68.674 \times 62 \times 77{,}66}{30.640 \times 1.000 \times 18{,}2} = 0{,}59\ g\ CO_{2eq}/MJ$$

La parte e_{tdC} se calcula a partir de los datos de transporte y distribución del combustible para varias distancias de transporte hasta el punto de distribución y varias distancias desde el punto de distribución hasta el punto de consumo. Como ejemplo, se indica a continuación el cálculo correspondiente a la distancia de transporte hasta el punto de distribución igual a 150 km y la distancia desde el punto de distribución hasta el punto de transporte igual a 20 km:

$$e_{tdC} = \frac{150 \times 77{,}66}{1.000 \times 18{,}2} + \frac{20 \times 215{,}06}{1.000 \times 18{,}2} = 0{,}88\ g\ CO_{2eq}/MJ$$

Realizando de forma análoga los cálculos para todas las combinaciones de distancias se obtiene la tabla de valores para e_{tdC}:

		Distancia de transporte (km) hasta el puto de distribución						
		0	50	100	150	200	250	300
Distancia (km) desde el punto de distribución hasta el de consumo	0	0,00	0,21	0,43	0,64	0,85	1,07	1,28
	5	0,06	0,27	0,49	0,70	0,91	1,13	1,34
	10	0,12	0,33	0,54	0,76	0,97	1,18	1,40
	15	0,18	0,39	0,60	0,82	1,03	1,24	1,46
	20	0,24	0,45	0,66	0,88	1,09	1,30	1,52
	25	0,30	0,51	0,72	0,94	1,15	1,36	1,58
	30	0,35	0,57	0,78	0,99	1,21	1,42	1,63
	35	0,41	0,63	0,84	1,05	1,27	1,48	1,69
	40	0,47	0,69	0,90	1,11	1,33	1,54	1,75
	45	0,53	0,75	0,96	1,17	1,39	1,60	1,81
	50	0,59	0,80	1,02	1,23	1,44	1,66	1,87

Cálculo de e_u

El término e_{td} se obtiene de la tabla 86 del documento Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions del JRC:

$$e_u = 0{,}25\ gCO2eq/MJ$$

Cálculo de las emisiones totales antes de la conversión en calor, E

a) Cálculo de las emisiones totales, E, con la opción 1 (valor por defecto desagregado para e_{td}))

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

$$E = e_p + e_{td} + e_u = 2{,}95 + 3{,}6 + 0{,}25 = 6{,}8\ g\ CO_{2eq}/MJ$$

b) Cálculo de las emisiones totales (E) con la opción 2 (valor real calculado para e_{td}).

El valor de las emisiones, sin contar las correspondientes al transporte y distribución del combustible es:

$$E' = e_p + e_{tMP} + e_u = 2{,}95 + 0{,}59 + 0{,}25 = 3{,}79\ g\ CO_{2eq}/MJ$$

Por tanto, el valor de E se calcula como la suma de E' y e_{tdC}. A continuación, se muestra el caso correspondiente al ejemplo planteado, con distancia de transporte hasta el punto de distribución igual a 150 km y distancia desde el punto de distribución hasta el de consumo igual a 20 km:

$$E = E' + e_{tdC} = 3{,}79 + 0{,}88 = 4{,}67\ g\ CO_{2eq}/MJ$$

Realizando de forma análoga los cálculos para todas las combinaciones de distancias se obtiene la tabla de valores para E:

		Distancia de transporte (km) hasta el puto de distribución						
		0	50	100	150	200	250	300
Distancia (km) desde el punto de distribución hasta el de consumo	0	3,79	4,00	4,22	4,43	4,64	4,86	5,07
	5	3,85	4,06	4,28	4,49	4,70	4,92	5,13
	10	3,91	4,12	4,33	4,55	4,76	4,97	5,19
	15	3,97	4,18	4,39	4,61	4,82	5,03	5,25
	20	4,03	4,24	4,45	4,67	4,88	5,09	5,31
	25	4,09	4,30	4,51	4,73	4,94	5,15	5,37
	30	4,14	4,36	4,57	4,78	5,00	5,21	5,42
	35	4,20	4,42	4,63	4,84	5,06	5,27	5,48
	40	4,26	4,48	4,69	4,90	5,12	5,33	5,54
	45	4,32	4,54	4,75	4,96	5,18	5,39	5,60
	50	4,38	4,59	4,81	5,02	5,23	5,45	5,66

El valor de las emisiones para la producción de calor, $EC_{B(h\&c)}$ se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

a) Cálculo del término $EC_{B(h\&c)}$ con la opción 1 (valor por defecto desagregado para e_{td})

$$EC_{B(h\&c)} = \frac{E}{\eta_h} = \frac{6{,}8}{85\%} = 8\ g\ CO_{2eq}/MJ\ de\ calor$$

b) Cálculo del término $EC_{B(h\&c)}$ con la opción 2 (valor real calculado para e_{td})

$$EC_{B(h\&c)} = \frac{E}{\eta_h} = \frac{4{,}67}{85\%} = 5{,}49\ g\ CO_{2eq}/MJ\ de\ calor$$

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

a) Cálculo de la reducción de emisiones de GEI con la opción 1 (valor por defecto desagregado para e_{td})

$$REDUCCIÓN = \frac{EC_{F(h\&c)} - EC_{B(h\&c)}}{EC_{F(h\&c)}} = \frac{80 - 8}{80} = 90\%$$

b) Cálculo de la reducción de emisiones de GEI con la opción 2 (valor real calculado para e_{td})

$$REDUCCIÓN = \frac{EC_{F(h\&c)} - EC_{B(h\&c)}}{EC_{F(h\&c)}} = \frac{80 - 5{,}49}{80} = 93{,}14\%$$

4.3 Ejemplo 2. Producción de electricidad a partir de biogás obtenido con biorresiduos

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%.

4.3.1 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.

4.3.2 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_{2eq}/t.km (fuente: JRC[6]).

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^3.
- Biogás producido total (digestor + almacenamiento): 4.118.723,85 m^3 = 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), η_{el}: 32%.
- Factor de emisión de CH_4 en cogeneración: 0,017 MJ CH_4/MJ biogás (fuente: JRC[7]).
- Factor de emisión de N_2O en cogeneración: 0,00141 g N_2O/MJ biogás (fuente: JRC[8]).

4.3.3 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

[6] 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).
[7] Tabla 39, página 53, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.
[8] Tabla 39, página 53, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.

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_2 y de la captura y sustitución del CO_2. 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.

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}:

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

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:

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

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:

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

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:

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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:

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

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:

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

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

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

4.4 Ejemplo 3. Producción de energía térmica a partir de biogás obtenido con estiércol

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.

4.4.1 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.

4.4.2 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_{2eq}/t.km (fuente: JRC[9]).

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

[9] 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).

- Contenido energético del biogás producido: 18,28 MJ/m^3.
- Biogás producido total: 4.353.197,14 m^3 = 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_{2eq}/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), η_{cal}: 80%.
- Factor de emisión de CH_4 en caldera de biogás: 0,0028 g CH_4/MJ calor (fuente: JRC[10]).
- Factor de emisión de N_2O en caldera de biogás: 0,00112 g N_2O/MJ calor (fuente: JRC[11]).

Datos correspondientes al almacenamiento en abierto del digerido

- Factor de emisión de CH_4 en almacenamiento de digerido: 0,10 MJ CH_4/MJ biogás (fuente: JRC[12]).
- Factor de emisión de N_2O en almacenamiento de digerido: 0,066 g N_2O/MJ biogás (fuente: JRC[13]).

Datos correspondientes a la gestión del estiércol

- Factor de créditos de CH_4 por gestión del estiércol: 1,47 g CH_4/MJ estiércol (fuente: JRC[14]).
- Factor de créditos de N_2O por gestión del estiércol: 0,028 g N_2O/MJ estiércol (fuente: JRC[15]).

4.4.3 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}.

[10] Tabla 37, página 50, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.
[11] Tabla 37, página 50, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.
[12] Tabla 44, página 57, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.
[13] Tabla 44, página 57, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.
[14] 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.
[15] 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.

Cálculo de e_{td}

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

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

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:

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

Cálculo de e_u

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

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

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:

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

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

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

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

Cálculo de la reducción de emisiones

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

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

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

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

4.5 Ejemplo 4. Cogeneración a partir de biogás obtenido con biorresiduos y estiércol húmedo

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%.

4.5.1 Descripción general

Los biorresiduos y el estiércol son transportados a la planta y procesados en el digestor. 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.

4.5.2 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 CO2eq/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_{2eq}/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), η_{el}: 32%.

4.5.3 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:

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

Cálculo de la reducción de emisiones

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

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

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

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

4.6 Ejemplo 5. Cogeneración a partir de biogás obtenido con lodos de EDAR

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".

4.6.1 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.

4.6.2 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, η_{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, η_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[16]).
- Factor de emisión de N_2O en cogeneración: 0,00141 g N_2O/MJ biogás (fuente: JRC[17]).

4.6.3 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.

[16] Tabla 39, página 53, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.
[17] Tabla 39, página 53, del documento *Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions* del JRC.

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_2 y de la captura y sustitución del CO_2. 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_4 y N_2O en la cogeneración:

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

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

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

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

Cálculo de la reducción de emisiones

Seguidamente se presentan los cálculos de las emisiones tras la conversión en electricidad (EC_{el}) y 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:

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

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:

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

c) Reducción de emisiones tras la conversión en electricidad:

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

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

d) Reducción de emisiones tras la conversión en calor:

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

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

5 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^3.
- Contenido en CH_4 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_4/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_4/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_4/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_4 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_4 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_4 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_4 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:

$$PRM = \frac{(5.000 \times 76{,}50\% \times 100) \times (100\% - 55{,}77\%) + (157.920 \times 7\% \times 35) \times (100\% - 43{,}27\%)}{9{,}13\% \times (100\% - 46{,}67\%)}$$
$$= 48{,}98\ l\ CH_4\ /kg\ SV$$

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

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

6 Modelo de declaración responsable

DECLARACIÓN RESPONSABLE RELATIVA AL CUMPLIMIENTO DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE AL MENOS UN 80% EN LA INSTALACIÓN PARA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD O CALOR

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 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 biomasa o biogás (según Anexo VI de la Directiva (UE) 2018/2001)		Distancia de transporte/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)

Redes
de calor y frío