



EL POTENCIAL DEL BIOMETANO en una ciudad de referencia: LLEIDA

Xavier Flotats
Profesor Emérito de Ingeniería Ambiental.
Universidad Politécnica de Cataluña,
UPC - BarcelonaTECH

Resumen

El objetivo del presente artículo es analizar qué aportación podría representar la producción de biogás y biometano en una ciudad media, como Lleida, capital de la comarca del Segrià (Cataluña), a fin de detectar también los limitantes o barreras a superar. Del análisis realizado se comprueba que puede existir una sinergia entre los diferentes municipios de la comarca, ya que algunos cuentan con más recursos para producir biometano que los necesarios para su consumo. La existencia de conducciones de gas para distribuir el biometano de allí donde se produce hasta donde puede consumirse con la máxima eficiencia permite aprovechar la sinergia mencionada. Se han estudiado tres escenarios y se han comparado los resultados estimados con el escenario de no aprovechamiento del biometano. En el escenario de máxima realización del potencial de producción de biogás mediante digestión anaerobia, la ciudad de Lleida podría cubrir el 12,6% de su demanda actual de gas natural, o el 100% del consumo de su flota de autobuses municipales, reduciendo a su vez las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) correspondientes al gas natural en un 29,6%. Cuando el análisis se amplía a toda la comarca, se puede llegar a cubrir el consumo de gas natural en un 44,1% y reducir las emisiones GEI hasta el 62,9%. Este escenario ideal presenta la dificultad de gestionar una gran cantidad de deyecciones ganaderas producidas en explotaciones de pequeño tamaño, para las cuales es necesario un esfuerzo en desarrollo tecnológico, en capacidad organizativa y en logística para no perder su potencial energético y evitar sus emisiones de metano a la atmósfera.

Introducción

El metano (CH_4) es un gas de efecto invernadero (GEI), con una capacidad de calentamiento global 34 veces superior al CO_2 ($34 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg CH}_4$; PEFCR, 2018). Este gas se emite de forma natural en las balsas de purines, pilas de estiércol, depósitos de residuos municipales que contienen materia orgánica y, en general,

allí donde hay materia orgánica en un ambiente sin o con poco oxígeno. Es, a su vez, un gas combustible y el componente principal del gas natural.

La captación y optimización de la producción de este gas de los subproductos orgánicos para producir energía fue estudiada desde antiguo, siendo en la actualidad un proceso, el de la digestión anaerobia, conocido y ampliamente utilizado. Mediante este

proceso se obtiene biogás, constituido principalmente por CH_4 , CO_2 y pequeñas concentraciones de otros gases, y con su limpieza y enriquecimiento se obtiene el biometano, un gas equivalente al gas natural que puede inyectarse en su red a fin de ser utilizado donde y cuando su rendimiento sea óptimo. El origen de la energía contenida en el CH_4 de los residuos es la energía solar captada por los organismos fotosintéticos, por lo cual es renovable.

Existen tecnologías de digestión anaerobia adaptables a prácticamente cualquier materia prima y circunstancia, desde métodos simples para recuperar CH_4 y evitar emisiones a la atmósfera en balsas de purines hasta plantas depuradoras de alto rendimiento para aguas residuales industriales (Feliu y Flotats, 2020). En Europa se contabilizaron 18.200 plantas de producción de biogás en 2018, con una producción de energía primaria de 195,4 TWh, una potencia eléctrica instalada de 11,1 GW y una producción eléctrica de 63,5 TWh. De las 483 plantas que en 2018 transformaban el biogás en biometano para su inyección a la red de gas, se pasaron a 729 plantas de biometano en junio de 2020, con una producción de 23 TWh de biometano inyectado en red. El grado de implantación de la producción de biogás es desigual, con una producción per cápita de energía primaria desde 66 kWh/habitante·año en España hasta 1 MWh/habitante·año en Alemania, con una media de 382 kWh/habitante·año en la Unión Europea en 2018 (Flotats, 2020). Las diferencias se explican por un diferente grado de implantación hasta el presente de políticas transversales en los ámbitos de la autosuficiencia energética, la lucha contra el cambio climático, la gestión de residuos y el desarrollo territorial.

El Pacto Verde Europeo (Green Deal) y todas las políticas europeas conducentes a la economía circular están dando un impulso para hacer converger las diferentes políticas de los estados miembros hacia los objetivos comunes de reducción de las emisiones GEI del 55% en 2030, respecto 1990, y emisiones netas

nulas y energía 100% renovable en 2050 (EC, 2019). El Parlamento Europeo ha sido recientemente más ambicioso y votó en Octubre de 2020 incrementar la reducción de GEI en 2030 al 60% (EP, 2020). Para estos objetivos, los gases renovables, entre ellos el biometano, tienen un papel crucial, ya que permiten la integración de sistemas eléctricos y gasistas y dotan al sistema energético de flexibilidad, al aportar la red de gas su capacidad de transporte y almacén de energía, que es de 1.100 TWh en Europa, aparte de contribuir a la reducción de GEI (Feliu y Flotats, 2020).

Estudios de potencial energético del biogás en Europa indican un valor de 780 TWh/año, y la Asociación Europea del Biogás manifiesta la ambición de poder suministrar 1.170 TWh/año de biometano o metano sintético a la red de gas europea en 2050 (Flotats, 2020). En España los estudios de potencial energético del biogás, o del biometano, indican valores entre 20,1 y 34,5 TWh/año, que podrían llegar a un máximo de 35,8 – 53,3 TWh/año, lo que implicaría un ahorro de emisiones GEI de 10,6 – 12,6 Mt CO_2_{eq} /año. En la actualidad, de este potencial solo se realizan 225 GWh/año eléctricos y unos 105 GWh/año en forma de biometano inyectado al sistema gasista. Hay, por tanto, un amplio camino por recorrer, del cual se están dando pasos de forma rápida a través de diversas iniciativas. De todas formas, existe poca conciencia pública del potencial energético y de reducción del calentamiento global que el aprovechamiento del biogás puede representar, a pesar del importante efecto que tienen los comportamientos individuales. Por ejemplo, la correcta separación doméstica de los residuos de cocina, las prácticas de manejo de deyecciones en granja, la gestión colectiva de subproductos orgánicos o las políticas públicas de apoyo a iniciativas de transformación de un problema, la gestión de residuos, a una oportunidad, su transformación en un vector energético. Algunos países, como Dinamarca o Francia, han traducido el objetivo de conseguir que todo el gas que circule por la red gasista sea renovable en 2035



o 2050, respectivamente, en políticas de apoyo e incentivos a iniciativas de producción e inyección de biometano en red. Es de esperar que en España también será así cuando se defina la visión a futuro en este campo. Pero ¿qué beneficios podría aportar la realización de esta visión en un entorno cercano? ¿Cuáles serían las dificultades a vencer?

El objetivo del presente artículo es analizar qué aportación podría representar la producción de biogás y biometano en una ciudad media, a fin de valorar también los limitantes o barreras a superar. Se ha escogido la ciudad de Lleida como modelo y caso de estudio. Lleida es capital de la comarca del Segriá, la más poblada de la provincia de Lleida, con una población de 208.799 habitantes de los cuales 140.403 en la ciudad de Lleida. Es una comarca agrícola y ganadera con una importante industria agroalimentaria, con interacción económica a todos los niveles entre sus municipios y entre estos y el centro comercial y administrativo de la ciudad de Lleida.

Metodología del estudio

El análisis ha consistido en la estimación de la producción de biometano y de las emisiones de CH_4 futuras debidas a gestión de estiércoles, fracción orgánica de residuos municipales (FORM), lodos de plantas depuradoras y residuos orgánicos industriales, en caso de adoptar diferentes tecnologías o estrategias según los escenarios que se describen a continuación. Estos valores se han comparado con los datos de consumo de energía y la estimación de las emisiones actuales debidas a este consumo y a la gestión de los subproductos orgánicos indicados. El estudio se ha centrado en las emisiones de metano (CH_4), sin considerar las emisiones de otros GEI, como el N_2O , o debidos al consumo de otros combustibles utilizados en las actividades de gestión de los residuos, lo cual correspondería a un estudio más detallado, con análisis de distancias de transporte de los residuos según municipio, por ejemplo, con objetivos más amplios que los presentes.

ESCENARIOS

Los escenarios evaluados se describen a continuación y se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de las características básicas de los escenarios analizados.

Escenario	Descripción
0	<p>Consumos de gas natural en la comarca y gasoil de los autobuses de Lleida.</p> <p>No se aprovechan energéticamente los subproductos orgánicos.</p> <p>Emisiones GEI, principalmente de metano, debidas a los consumos de energía indicados y a la gestión de los subproductos orgánicos.</p>
1	<p>Todos los subproductos orgánicos se someten al proceso controlado de digestión anaerobia, el biogás se enriquece a biometano y se inyecta en la red de gas natural.</p> <p>El biometano sustituye al gasoil de los autobuses y parte del consumo de gas natural.</p> <p>Las emisiones de GEI son las debidas al gas natural no sustituido y a la gestión de productos orgánicos digeridos.</p>
2	<p>Los lodos de depuradoras, residuos orgánicos industriales y fracción orgánica de residuos municipales susceptibles de compostaje se someten a digestión anaerobia, y se recupera parte del gas del vertedero comarcal.</p> <p>Las explotaciones ganaderas con potencial de más de 20 m³ biogás/h adoptan la digestión anaerobia o transportan deyecciones a plantas centralizadas. Las de menor capacidad separan fracciones sólida y líquida y transportan la fracción sólida a planta de biogás centralizada.</p> <p>El biogás de las instalaciones se enriquece a biometano y se inyecta a la red de gas. Este sustituye al gasoil de los autobuses y parte del consumo de gas natural.</p> <p>Las emisiones de GEI son las debidas al gas natural no sustituido y a la gestión de subproductos orgánicos, también de digeridos.</p>
3	<p>Igual que el escenario 2, pero adoptando balsas cubiertas estancas de purines y estiércoles, con recuperación y recogida centralizada de biogás emitido en función de la temperatura media de la zona, para explotaciones con potencial menor a 20 m³ biogás/h.</p>

ESCENARIO 0:

Corresponde a una aproximación a la situación actual, considerando para deyecciones las granjas de porcino, bovino, de carne y de leche, y avícola de producción de huevos y de carne, obviando otras especies animales. No se tiene en cuenta la existencia de las plantas de biogás para producción de energía eléctrica que actualmente operan en Almenar, Gimenezells y Torres de Segre a partir de deyecciones ganaderas y residuos industriales o ensilados de cultivos, ni la actual producción de biogás en la planta depuradora de aguas residuales de Lleida. Estas producciones actuales de biogás contribuyen a una menor emisión de CH_4 que la que se estima en este escenario, pero permite una visión general de referencia.

ESCENARIO 1:

Contempla la situación de máxima producción de biometano a inyectar en red, suponiendo la producción de biogás en plantas de digestión anaerobia mesofílica (35 °C) a partir de todas las deyecciones ganaderas (porcino, bovino y avícola de producción de huevos), de toda la FORM suponiendo una separación domiciliar completa de esta, sin contenido en la fracción resto, de los lodos de las plantas depuradoras de aguas residuales que operan en la comarca, y de los residuos orgánicos de industrias agroalimentarias. El rendimiento en la producción de CH_4 para cada subproducto se indica en los apartados siguientes. Para la estimación del CH_4 disponible para inyección en la red se ha supuesto una pérdida, y emisión a la atmósfera, del 5% del biogás por gestión del digerido, un consumo en caldera de 55 kWh/t de subproducto orgánico a digerir para mantener la temperatura de digestión a 35 °C con temperatura media de los residuos igual a la media anual de 15,5 °C de Lleida y unas pérdidas de biometano del 1% antes de su inyección a la red de gas.

ESCENARIO 2:

No se contempla la producción de lodos en la depuradora de Lleida, la cual tiene por objetivo la autosuficiencia energética. Actualmente genera 1,67 GWhe mediante cogeneración para consumo propio y produce 10 m³ biometano/h para los vehículos de la empresa (Palatsi *et al.*, 2021). De los lodos de las otras depuradoras y los residuos orgánicos industriales, que actualmente se procesan en plantas de compostaje, se suponen que se destinan a producción de biogás en plantas centralizadas de co-digestión anaerobia, localizadas en el municipio en que se producen.

De las deyecciones ganaderas, las granjas con capacidad para producir más de 20 m³ biogás/h adoptan una planta de biogás o transportan a una planta centralizada en el término municipal. El resto transporta la fracción sólida obtenida mediante separación sólido/líquido, con un rendimiento en la separación de caudales del 30% y de sólidos volátiles (SV) del 62% (Campos *et al.*, 2008); estos sólidos apilados emiten un 4% de su potencial de emisión (IPCC, 2019) antes de ser transportados y el resto de SV emiten el CH_4 correspondiente, según IPCC (2019), suponiendo almacenamiento en balsa durante 4 o 6 meses según si el municipio se encuentra en zona de regadío o seco, respectivamente (DARP, 2019). En el caso de granjas de gallinas ponedoras, con una concentración elevada de SV, transportan el 30% del total de estiércol.

Actualmente, la FORM de los municipios se trata en una planta de compostaje comarcal localizada en Montoliu de Lleida y la fracción resto, con contenido de materia orgánica, se destina a depósito controlado con recuperación de CH_4 para su combustión en antorcha. En este escenario se supone que la planta de compostaje se transforma en una planta de biogás, con las mismas pérdidas que las indicadas en escenario 1, y que el 60% del potencial de generación de CH_4 de la materia orgánica estimada de la fracción

resto en el depósito se recupera para su transformación a biometano, con un rendimiento del 90%. En este escenario, los lodos de depuradora y los residuos industriales siguen el mismo sistema que en el escenario 1.

ESCENARIO 3:

En este escenario solo se modifica respecto del 2 la gestión de las deyecciones en granjas con una producción menor de 20 m³ biogás/h. En estas se adopta un sistema de producción de biogás psicrófilo (a temperatura ambiente), con recuperación de biogás de la balsa con cubrición estanca para aquellas explotaciones que producen más de 1 m³ CH₄/h, con la producción correspondiente a 4 o 6 meses de tiempo de almacén a temperatura ambiente, según IPCC (2019). Se supone que en estas explotaciones se adopta un sistema automático de limpieza, enriquecimiento, compresión y almacenamiento del gas hasta su recogida periódica por servicio especializado, con un rendimiento del 90% del CH₄ producido, hasta la unidad de enriquecimiento en planta centralizada municipal, con inyección final del 95% del CH₄ recolectado.

DATOS DE PARTIDA

CONSUMO DE ENERGÍA:

Para simplificar el estudio de los combustibles fósiles que podrían ser sustituidos por el biometano, el análisis se ha centrado en el consumo en 2019 de gas natural en los municipios de la comarca y de gasoil por parte de la flota de autobuses municipales de la ciudad de Lleida. Estos datos han sido facilitados respectivamente por Naturgy y la Agencia de la Energía de Lleida (AEL, 2021). Se han adoptado unas emisiones de GEI por consumo de gas natural de 260 g CO₂ eq/kWh y de 338,4 g CO₂ eq/kWh para el de gasoil en la flota de autobuses (Giuntoli et al., 2017),

con un PCI para el gasoil de 9,98 kWh/L. Se ha adoptado un PCS para el metano producido a partir de los residuos de 11,056 kWh/m³ CH₄, y una densidad de 0,67 kg CH₄/m³ CH₄.

DEYECCIONES GANADERAS

Los datos de cabaña ganadera se han obtenido de DARP (2021), distribuida por municipios, especie animal y plazas por cada etapa del ciclo productivo. El peso medio por animal, la producción de SV, los coeficientes de producción máxima de CH₄ y sus factores de emisión según método de manejo se han obtenido de IPCC (2019), para un clima templado seco. La distribución porcentual de granjas según métodos de manejo de purines y estiércoles se ha obtenido mediante consulta a MITERD (2021). Las emisiones de CH₄ se han estimado a partir de los datos anteriores y el potencial de producción de CH₄ en una planta de biogás mesofílica se ha estimado suponiendo un rendimiento del 80% de la producción máxima por unidad de SV, según IPCC (2019).

FRACCIÓN ORGÁNICA DE RESIDUOS MUNICIPALES

Los datos de producción municipal de residuos de 2019 y su distribución en fracciones de recogida selectiva y fracción resto se ha obtenido de DOC (2021). Para la estimación del contenido de materiales impropios de la FORM (fracción orgánica de residuos municipales) se ha adoptado la media de los datos de caracterización de la FORM del Segriá de 2020-2021, obtenidos de SDR (2021). El contenido de materia orgánica de la fracción resto se ha estimado como la media de su contenido medido en zonas rurales agrícolas y residenciales según ARC (2014). El contenido de SV se ha estimado en un 30,6% de la FORM y en un 37,6% de la materia orgánica en la fracción resto, a partir de medidas propias en plantas de tratamiento de residuos. La producción de CH₄ se ha estimado en 0,47 m³ CH₄/kg SV y 0,35 m³ CH₄/kg SV

para la FORM y la materia orgánica de la fracción resto, respectivamente (Mata-Alvarez, 2002).

LODOS DE ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES (EDAR)

La producción de lodos para las EDAR urbanas se ha estimado a partir de correlacionar caudal nominal de diseño (ACA, 2021a) y producción total de lodos (ACA, 2021b). La proporción entre lodo primario y secundario y su contenido en SV se ha estimado a partir de datos de Silvestre *et al.* (2015) y para la producción de CH₄ se han utilizado valores medios de los intervalos medidos por Gavala *et al.* (2003), 0,398 m³ CH₄/kg SV y 0,218 m³ CH₄/kg SV para lodos primarios y secundarios, respectivamente. Las estimaciones se han contrastado con la producción de CH₄ de la EDAR de Lleida.

RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES

Se ha extraído la información de la base de datos elaborada por Vilamajó y Flotats (2011), correspondiente a los municipios de la comarca del Segrià, escogiendo los residuos declarados como valorizables mediante uso agrícola o compostaje y adoptando la producción media de CH₄ de los intervalos definidos con un grado de incertidumbre (GI) medio. Debido a la variabilidad en la composición de los residuos, la falta de información completa sobre esta o potenciales de producción de gas diferentes según composición o

fuente bibliográfica, Vilamajó y Flotats (2011) caracterizaron cada residuo orgánico del CER (Catálogo Europeo de Residuos) con diferentes GI, de manera que cuanto más elevado era el GI también lo era la probabilidad de que el intervalo de valores de producción de CH₄ incluyera los valores correctos. No se han considerado otros residuos con elevado potencial energético, como los cárnicos por estar sometidos a una legislación propia, u otros que tienen otras formas de valorización material.

Resultados y discusión

En la Tabla 2 se expresan los resultados del escenario 0, el de referencia. En la Tabla 2 se indican los municipios de la comarca donde existen consumos de gas natural y donde, por tanto, existe canalización de este gas, con el potencial de poder absorber producciones de CH₄ de la gestión de residuos y subproductos orgánicos en caso de aplicar el proceso de digestión anaerobia. El consumo de gasoil por parte de la flota de autobuses de la ciudad de Lleida se indica en el municipio de Montoliu de Lleida, en el cual no hay suministro de gas natural y en el que se localizan las instalaciones de tratamiento de residuos municipales de toda la comarca. El consumo de gas natural indicado es el total, el cual se distribuye el 52% en consumo doméstico, 27% en comercial y 22% industrial en la ciudad de Lleida, y el 25%, 11% y 64% respectivamente en el total de la comarca del Segrià.

Tabla 2. Consumo anual de gas natural y gasoil de la flota autobuses de Lleida en los municipios de la comarca del Segrià*.

Municipio	Consumo energía (gas natural y autobuses Lleida)	Emisiones GEI por consumo energía	Emisiones CH ₄ por gestión deyecciones	Emisiones CH ₄ por gestión residuos municipales	Emisiones CH ₄ por gestión lodos y residuos orgánicos	Total emisiones estimadas	% emisiones debidas a consumo energía fósil
	GWh	t CO ₂ eq	t CO ₂ eq	t CO ₂ eq	t CO ₂ eq	t CO ₂ eq	%
Lleida	553,1	143.813	45.965		1.538	191.315	75,2
Aitona	0,8	214	13.815		0	14.029	1,5
Alamús, Els	1,0	262	11.030		1	11.293	2,3
Albatàrrec	3,8	981	1.886		0	2.867	34,2
Alcarràs	25,5	6.636	93.630		42	100.309	6,6
Alcoletge	19,8	5.156	3.524		0	8.681	59,4
Alfarràs	7,7	1.994	2.571		0	4.565	43,7
Alguaire	230,2	59.848	23.916		3.284	87.048	68,8
Almacelles	138,2	35.920	42.952		50	78.923	45,5
Almenar	16,1	4.187	60.366		39	64.593	6,5
Alpicat	35,2	9.145	6.716		1	15.861	57,7
Benavent de Segrià	2,7	691	6.399		0	7.090	9,7
Corbins	1,3	351	2.170		4	2.524	13,9
<i>Montoliu de Lleida</i>	9,4	3.187	31	18.563	0	21.781	14,6
Rosselló	514,0	133.637	2.750		20	136.407	98,0
Seròs	1,0	250	20.053		31	20.333	1,2
Torrefarrera	16,0	4.168	7.965		0	12.134	34,4
Torre-serona	0,3	82	3.351		0	3.433	2,4
Vilanova de la Barca	0,9	231	16.324		0	16.555	1,4
Vilanova de Segrià	1,2	300	7.003		0	7.303	4,1
Total con línea gas¹	1.578,1	411.052	372.418	18.563	5.010	807.044	50,9
Total comarca²	1.578,1	411.052	565.071	18.563	5.020	999.708	41,1

* Emisiones anuales estimadas de GEI por este consumo y emisiones anuales estimadas de metano (CH₄), en unidades de CO₂ eq, debidas a la gestión de residuos y subproductos orgánicos en los municipios con suministro de gas natural y en el total de la comarca, tomando como referencia los valores de 2019. En el municipio de Montoliu de Lleida no existe suministro de gas y en él se localizan las instalaciones de tratamiento de residuos municipales de la comarca; el consumo de gasoil de los autobuses de Lleida se indica en este municipio, en letra cursiva.

¹ Suma para los municipios de la comarca con conducción de gas natural, incluido el municipio de Montoliu de Lleida, al que se le asigna el consumo de energía de los autobuses de Lleida, para facilitar la exposición de la información.

² Suma para todos los municipios de la comarca, con o sin línea de gas natural.



ESCENARIO 1:

En la Tabla 3 se exponen las estimaciones correspondientes al escenario 1, el de máxima realización del potencial energético del biogás. En este se comprueba que puede cubrirse el 12,6% de la demanda de gas natural con biometano para la ciudad de Lleida o el 31,6% de la demanda, contando autobuses, para los municipios de la comarca con suministro de gas natural, con recursos propios, y el 44,1% en caso de contar con los recursos productores de biometano de toda la comarca. En este último caso, la reducción de emisiones GEI, contando solo las de CH_4 a la atmósfera por gestión de subproductos orgánicos, así como las emisiones debidas al consumo de gas natural no cubierto por el aporte del biometano, es del 62,9% respecto del escenario 0 (Tabla 2). En la Figura 1 se expresa de forma gráfica el potencial anual de producción de biometano por municipio.

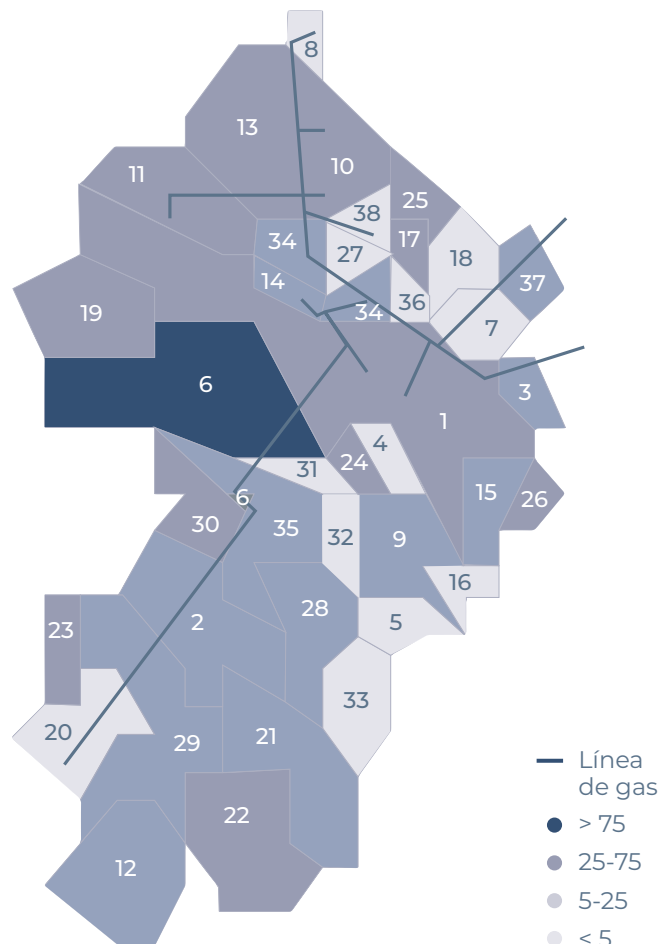
Llama la atención que explotando el máximo potencial del biogás de las deyecciones ganaderas, estas todavía

contribuyan a las emisiones de CH_4 a la atmósfera. Esto es debido a dos motivos: 1) el estiércol de granjas avícolas de pollos para carne no se aprovechan para producir biogás, debido a su contenido en materiales lignocelulósicos de la cama de la granja; 2) las emisiones naturales de CH_4 (escenario 0) se producen a la temperatura ambiente y en función del sistema de manejo del estiércol, las cuales son comparativamente bajas con las que se producen mediante digestión anaerobia en instalaciones donde se optimiza la producción de biogás.

Haber adoptado una pérdida del 5% de la producción de CH_4 en estas instalaciones, por gestión de digerido, tiene un efecto importante en la evaluación ambiental del ahorro de GEI por unidad de energía producida, como se puede comprobar en la Figura 98 de Feliu y Flotats (2020). Por ello, es obvia la necesidad de recuperar el CH_4 de los digeridos, adoptando cubiertas estancas durante su almacén, lo cual tiene un efecto relativamente poco relevante desde el punto de vista energético pero muy importante desde el punto de vista de las emisiones ahorradas.

Figura 1. Potencial estimado de producción de biometano, a partir de diferentes subproductos orgánicos, en los municipios de la comarca del Segrià.

(Unidades: GWh/año)



- | | | |
|---------------|----------------------------------|-------------------------|
| 1 Lleida | 14 Alpicat | 26 Puigverd de Lleida |
| 2 Aitona | 15 Artesa de Lleida | 27 Rosselló |
| 3 Alamús, Els | 16 Aspa | 28 Sarroca de Lleida |
| 4 Albatàrrec | 17 Benavent de Segrià | 29 Seròs |
| 5 Alcanó | 18 Corbins | 30 Soses |
| 6 Alcarràs | 19 Gimènells i el Pla de la Font | 31 Sudanell |
| 7 Alcoletge | 20 Granja d'Escarp | 32 Sunyer |
| 8 Alfarràs | 21 Llardecans | 33 Torrebesses |
| 9 Alfés | 22 Maials | 34 Torrefarrera |
| 10 Alguaire | 23 Massalcoreig | 35 Torres de Segre |
| 11 Almacelles | 24 Montoliu de Lleida | 36 Torre-serona |
| 12 Almatret | 25 Portella, La | 37 Vilanova de la Barca |
| 13 Almenar | | 38 Vilanova de Segrià |

12 El potencial del biometano en una ciudad de referencia: Lleida
Artículo

Para el global de la comarca, según los datos de las Tablas 2 y 3, y considerando las emisiones del gas natural que no se sustituye por biometano, la aportación del biometano es de 696,2 GWh/año de energía y la reducción de las emisiones estimadas es de 629,3 kt CO₂ eq/año (62,9% de las emisiones en escenario 0), esto es -0,904 kg CO₂ eq/kWh. Para la ciudad de Lleida, suponiendo que queda cubierta en un 100% la demanda de energía de la flota de autobuses, para los cuales se ha tenido en cuenta las emisiones correspondientes a la compresión del biometano, según Giuntoli *et al.* (2017), estas emisiones son de -0,797 kg CO₂ eq/kWh de energía renovable producida en

forma de biometano. Los valores negativos son debidos a que se reduce la emisión debida a la energía que se sustituye y la debida a las emisiones no controladas de la gestión de subproductos orgánicos. De todas formas, debe tenerse en cuenta que las estimaciones realizadas no tienen en cuenta el consumo de energía, y las emisiones correspondientes, por parte de los equipos eléctricos de las plantas de biogás, por el transporte de subproductos orgánicos a estas, ni de los digeridos a su uso agrícola o postratamiento. Por ello, en algunos casos, las emisiones por unidad de energía sustituida pueden ser positivas (ver Feliu y Flotats, 2020).



Producción de biometano vehicular en la depuradora municipal de Lleida.
Foto gentileza de Aqualia.

Tabla 3. Estimación de la producción anual de biometano y las emisiones anuales de GEI (metano para las emisiones por gestión de subproductos orgánicos) en las condiciones del escenario 1.*

Municipio	Biometano de deyecciones ganaderas	Biometano de FORM	Biometano de lodos y residuos orgánicos	Total biometano	Aportación a la demanda de energía	Emisiones CH ₄ por gestión deyecciones	Emisiones CH ₄ por gestión de FORM	Emisiones CH ₄ por gestión de lodos y residuos org.	Total emisiones CH ₄	Reducción emisiones respecto escenario 0
	GWh	GWh	GWh	GWh	%	t CO ₂ eq	t CO ₂ eq	t CO ₂ eq	t CO ₂ eq	%
Lleida	62,4		7,2	69,6	12,6	8.454		590	9.044	29,6
Aitona	11,0		0,0	11,0	1.330,7	1.735		0	1.735	106,4
Alamús, els	12,6		0,0	12,7	1.254,1	1.698		0	1.698	111,8
Albatàrrec	1,7		0,0	1,7	43,9	229		0	229	72,8
Alcarràs	120,6		0,1	120,7	473,0	16.677		8	16.686	108,0
Alcoletge	3,9		0,0	3,9	19,4	524		0	524	46,1
Alfarràs	2,9		0,0	2,9	37,4	389		0	389	64,2
Alguaire	30,1		9,3	39,3	17,1	4.047		657	4.703	37,6
Almacelles	59,8		0,1	60,0	43,4	8.195		10	8.205	63,8
Almenar	59,0		0,1	59,2	367,4	8.153		8	8.161	104,7
Alpicat	6,3		0,0	6,3	17,9	864		0	864	47,2
Benavent de S.	6,7		0,0	6,7	253,1	915		0	915	102,0
Corbins	2,2		0,0	2,2	164,5	319		1	320	96,3
Montoliu de L.	0,2	43,4	0,0	43,6	462,5	25	773	0	798	136,4
Rosselló	3,9		0,1	3,9	0,8	514		4	518	2,4
Seròs	17,5		0,1	17,5	1.825,9	2.549		6	2.556	108,6
Torrefarrera	8,6		0,0	8,6	53,6	1.181		0	1.181	74,3
Torre-serona	4,4		0,0	4,4	1.399,7	591		0	591	113,7
Vilanova de la B.	17,4		0,0	17,4	1.959,6	2.451		0	2.451	111,1
Vilanova de S.	7,3		0,0	7,3	632,7	994		0	994	108,3
Total línea gas¹	438,4	43,4	17,0	498,8	31,6	60.503	773	1.285	62.561	57,5
Total comarca²	635,5	43,4	17,4	696,2	44,1	87.751	773	1.287	89.811	62,9

* El porcentaje de reducción de emisiones tiene en cuenta las emisiones debidas a energía de origen fósil no sustituida por el biometano.

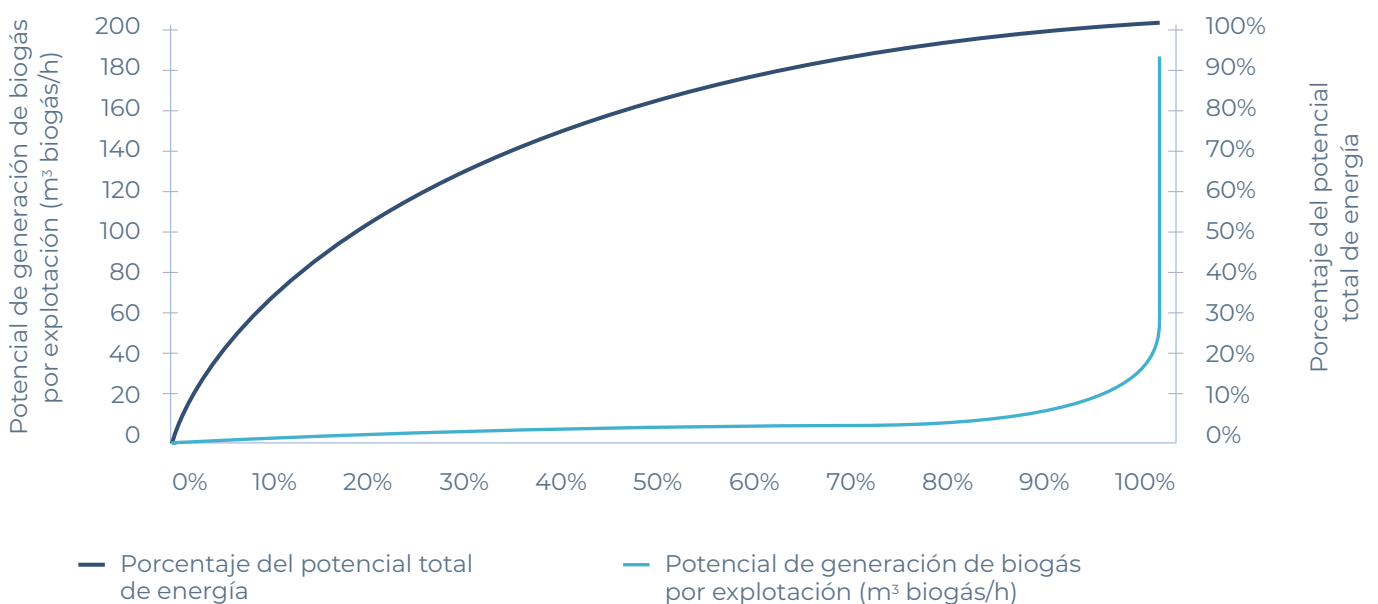
¹ Suma para los municipios de la comarca con conducción de gas natural, incluido el municipio de Montoliu de Lleida.

² Suma para todos los municipios de la comarca, con o sin línea de gas natural.

Para las deyecciones ganaderas, las plantas de biogás pueden estar en la propia granja y aplicar el concepto de codigestión con residuos orgánicos biodegradables, lo cual implica una medida y capacidad de producción suficientemente elevada, o ser plantas colectivas, donde diferentes granjas aportan sus deyecciones. Esto último es necesario para estiércoles de gallinas, ya que su composición no permite un proceso simple de digestión anaerobia y es conveniente la mezcla con otros sustratos. Para porcino y bovino, el tamaño y tipo de la explotación afecta tanto al caudal de purines y estiércoles como a su producción específica de CH_4 . El municipio con las emisiones estimadas más altas de CH_4 (Tabla 2) y a su vez con mayor potencial de producción de biometano es Alcarrás (Tabla 3), debido a su concentración de cabaña ganadera. En este municipio opera una planta de secado térmico de purines, en la cual podría incluirse una unidad de digestión anaerobia para aprovechar el potencial energético de estos subproductos.

De las 37 granjas de gallinas, ninguna supera un potencial de producción de 50 m^3 biogás/h, y solo una podría producir más de 20 m^3 biogás/h. En la Figura 2 se muestra la distribución del potencial de producción de biogás mediante digestión anaerobia para las 787 granjas de porcino y las 717 de bovino (carne y leche) de la comarca del Segriá. El 92,8% de estas explotaciones tiene potenciales inferiores a 20 m^3 biogás/h, el 70% tiene potenciales inferiores a 10 m^3 biogás/h y solo 14 superan 50 m^3 biogás/h. Aproximadamente el 20% de las explotaciones generan el 50% del potencial de energía, pero todas están obligadas a un tiempo de almacén mínimo de 4 o 6 meses, dependiendo de si están en zona de secano o regadío (DARP, 2019), durante el cual se emite CH_4 a la atmósfera. Cubrir balsas para recuperar este metano es la alternativa, pero de no ser recogido y aprovechado energéticamente, solo es posible quemarlo en antorcha.

Figura 2. Distribución del potencial de producción energética del biogás unitaria y acumulada de las explotaciones de porcino y bovino en la comarca del Segriá.



El porcentaje de granjas relativamente pequeñas, que además no tienen consumos de energía térmica para calefacción, es elevado, por lo cual es necesario o bien el transporte de purines a planta centralizada, con el consiguiente coste de transporte, o bien capturar el gas producido en las balsas y habilitar un sistema de recogida de gas comprimido. Otra alternativa es adoptar un sistema de separación sólido/líquido en cada granja y transportar la fracción sólida, con menor contenido de agua y mayor concentración de SV. La eficiencia en la separación baja conforme más tiempo se espera entre la generación de las excretas y el proceso de separación, por lo cual es recomendable retirar las deyecciones de las naves del ganado diariamente y proceder a su separación inmediata, lo cual implica modificar las prácticas habituales de manejo de las deyecciones (ver caso práctico de cooperativa Cooperl en Feliu y Flotats, 2020). Esta alternativa, aplicada en las explotaciones ganaderas con potencial de producción inferior a 20 m³ biogás/h constituye una de las condiciones del escenario 2, mientras que la alternativa de recolección de gas comprimido constituye el escenario 3.

ESCENARIO 2:

En el escenario 2, aparte de transportar las deyecciones originales de granjas con un potencial superior a 20 m³ biogás/h a planta centralizada, o aplicar codigestión en la propia explotación, y transportar la fracción sólida del resto de las explotaciones, se supone la aplicación de la digestión anaerobia de la fracción orgánica de residuos municipales recogidos selectivamente y aprovechar energéticamente un 60% de las emisiones estimadas de CH₄ del depósito de residuos, constituidos por la fracción resto con una concentración apreciable de materia orgánica. La eficiencia en la captura de CH₄

en los depósitos se encuentra usualmente entre el 10% y el 85% (IPCC, 2019). Los resultados de las estimaciones en el escenario 2 se muestran en la Tabla 4.

En este escenario, Tabla 4, llama la atención el elevado valor de emisiones debidas a residuos municipales, en comparación al escenario 1, en el que se supone que toda la materia orgánica de estos residuos es sometida a un proceso controlado de digestión anaerobia. Estas emisiones son solo ligeramente inferiores a las del escenario 0, en el que se supone que el 60% del gas recuperado del vertedero es quemado en antorcha. Para que la digestión anaerobia de la fracción orgánica de residuos municipales pueda contribuir al aporte de energía y a su vez a la reducción de emisiones de GEI, es imperativa la participación ciudadana en la separación domiciliar de los residuos de cocina, de manera que la FORM recogida selectivamente pueda ser sometida al proceso con facilidad y evitar que llegue materia orgánica a los depósitos de residuos (Flotats *et al.*, 2011).

Con la separación y transporte de la fracción sólida de las deyecciones, transporte del 30% de las deyecciones íntegras para granjas de huevos, se pasa de una producción potencial de 635,5 GWh/año de las deyecciones a 486,4 GWh/año, para el total de la comarca, mientras que las emisiones estimadas de CH₄ suben de 87,8 kt CO₂_{eq}/año a 388,6 kt CO₂_{eq}/año. Esto es debido a las emisiones de la fracción de materia orgánica menos concentrada que queda en la balsa de las granjas. Estas emisiones solo se pueden evitar con una cubierta estanca de la balsa, la recuperación del gas producido y su quema en antorcha, o aprovechamiento energético in-situ en caso de demanda. En el escenario 3 (Tabla 5) se aborda otra alternativa para explotaciones con potenciales de producción menores de 20 m³ biogás/h.

Tabla 4. Estimación de la producción anual de biometano y las emisiones anuales de metano (CH₄) en las condiciones del escenario 2*.

Municipio	Biometano de deyecciones ganaderas	Biometano de FORM	Biometano de lodos y residuos orgánicos	Total biometano	Aportación a la demanda de energía	Emisiones CH ₄ por gestión deyecciones	Emisiones CH ₄ por gestión de FORM	Emisiones CH ₄ por gestión de lodos y residuos org,	Total emisiones CH ₄	Reducción emisiones respecto escenario 0
	GWh	GWh	GWh	GWh	%	t CO ₂ eq	t CO ₂ eq	t CO ₂ eq	kt CO ₂ eq	%
Lleida	44,2		7,2	51,4	9,3	28.031		590	28,6	27,1
Aitona	9,6		0,0	9,6	1162,8	10.934		0	10,9	103,9
Alamús, els	9,1		0,0	9,1	902,2	7.643		0	7,6	103,6
Albatàrrec	1,1		0,0	1,1	30,3	873		0	0,8	68,2
Alcarràs	96,1		0,1	96,3	377,1	73.172		8	73,2	101,7
Alcoletge	3,1		0,0	3,1	15,6	2.603		0	2,6	43,8
Alfarràs	2,0		0,0	2,0	25,8	1.243		0	1,2	59,1
Alguaire	21,9		9,3	31,2	13,5	16.092		657	16,7	35,2
Almacelles	47,7		0,1	47,9	34,6	34.899		10	34,9	59,9
Almenar	43,3		0,1	43,4	269,7	32.967		8	32,9	98,4
Alpicat	4,3		0,0	4,3	12,3	3.021		0	3,0	44,0
Benavent de S.	4,6		0,0	4,6	174,5	3.068		0	3,1	94,4
Corbins	1,6		0,0	1,6	117,8	995		1	1,0	89,8
Montoliu de L.	0,1	22,3	0,0	22,5	238,4	26	17.229	0	17,3	111,2
Rosselló	3,1		0,1	3,1	0,6	1.576		4	1,60	2,2
Seròs	15,6		0,1	15,7	1635,7	16.449		6	16,5	106,3
Torrefarrera	7,2		0,0	7,2	45,0	7.026		0	7,0	71,4
Torre-serona	3,0		0,0	3,0	966,1	1.679		0	1,79	103,4
Vilanova de la B.	15,5		0,0	15,5	1745,0	13.533		0	13,5	108,1
Vilanova de S.	5,2		0,0	5,2	451,3	4.202		0	4,2	100,8
Total línea gas¹	338,5	22,3	17,0	377,9	23,9	260.033	17.229	1.285	278,5	53,6
Total comarca²	486,4	22,3	17,4	526,1	33,3	388.588	17.229	1.287	407,1	59,8

* El porcentaje de reducción de emisiones tiene en cuenta las emisiones debidas a energía de origen fósil no sustituida por el biometano.

¹ Suma para los municipios de la comarca con conducción de gas natural, incluido el municipio de Montoliu de Lleida.

² Suma para todos los municipios de la comarca, con o sin línea de gas natural.



ESCENARIO 3:

El escenario 3, tabla 5, se diferencia del escenario 2 en que las explotaciones con producciones inferiores a 20 m³ biogás/h y mayores que 1 m³ CH₄/h cubren sus balsas de forma estanca, recuperan el CH₄ producido y un sistema automático instalado en la propia instalación limpia y enriquece el gas, y lo comprime en botellas o depósito a presión para que un servicio de recogida lo retire periódicamente. Se ha supuesto un límite inferior de 1 m³ CH₄/h por considerar que a muy bajas productividades no será interesante una inversión en equipos sofisticados.

En esta situación la producción energética de las deyecciones baja respecto de los dos escenarios anteriores, ya que la producción de biogás depende en este caso de la temperatura ambiente, pero también lo hacen de forma ostensible las emisiones de CH₄ a la atmósfera a 81,2 kt CO₂_{eq}/año, por debajo de 87,8 kt CO₂_{eq}/año del escenario 1 de máxima producción energética, para deyecciones y para el total de la comarca.

Equipos automáticos de limpieza y compresión de gas para pequeñas explotaciones ganaderas no existen en el mercado, o no son conocidos por el autor. El análisis de esta hipótesis, la

del escenario 3, surge de la necesidad de encontrar una forma de aprovechar energéticamente un gas que se produce de forma natural en miles de pequeñas explotaciones, que es la mayoría (ver Figura 2), y que contribuye al calentamiento global. La alternativa es igualmente cubrir, recuperar el gas y quemarlo en antorcha, lo cual sería beneficioso ambientalmente, pero no contribuiría al balance energético del país.

A la vista de los resultados de los escenarios hipotéticos analizados, se comprueba que el sector que presenta mayor potencial energético es el ganadero, pero también es el sector en el que el aprovechamiento energético de los algo más de 3 Mt/año de deyecciones producidas en la comarca presenta mayores dificultades. Ya sea desarrollar nuevos sistemas para aprovechar el potencial de producción natural a temperatura ambiente en propia granja, con transporte de gas, o ya sea concentrar sólidos volátiles en granja para transportarlos a planta centralizada, implica prestar mucha atención a solucionar el problema de logística que representa coordinar multitud de explotaciones ganaderas, tanto en la fase de recolección de gas o materia orgánica como en la fase posterior de gestión del digerido.

Tabla 5. Estimación de la producción anual de biometano y las emisiones anuales de metano (CH₄) en las condiciones del escenario 3*.

Municipio	Biometano de deyecciones ganaderas	Biometano de FORM	Biometano de lodos y residuos orgánicos	Total biometano	Aportación a la demanda de energía	Emisiones CH ₄ por gestión deyecciones	Emisiones CH ₄ por gestión de FORM	Emisiones CH ₄ por gestión de lodos y residuos org,	Total emisiones CH ₄	Reducción emisiones respecto escenario 0
	GWh	GWh	GWh	GWh	%	t CO ₂ eq	t CO ₂ eq	t CO ₂ eq	t CO ₂ eq	%
Lleida	23,4		7,2	30,6	5,5	8.127		590	8.717	24,3
Aitona	7,8		0,0	7,8	947,3	1.600		0	1.600	100,6
Alamús, els	6,1		0,0	6,1	608,1	1.518		0	1.518	96,8
Albatàrrec	0,7		0,0	0,7	18,0	125		0	125	63,9
Alcarràs	54,4		0,1	54,5	213,5	16.241		8	16.249	90,9
Alcoletge	2,0		0,0	2,0	9,9	517		0	517	40,5
Alfarràs	0,9		0,0	0,9	11,4	293		0	293	52,8
Alguaire	12,4		9,3	21,6	9,4	3.978		657	4.635	32,3
Almacelles	31,5		0,1	31,7	22,9	8.179		10	8.189	54,5
Almenar	26,3		0,1	26,5	164,3	5.718		8	5.726	91,5
Alpicat	2,5		0,0	2,5	7,0	499		0	499	41,0
Benavent de S.	2,2		0,0	2,2	82,9	846		0	846	85,4
Corbins	0,8		0,0	0,8	56,8	210		1	210	81,3
Montoliu de L.	0,0	22,3	0,0	22,3	237,0	31	17.229	0	17.260	111,0
Roselló	2,2		0,1	2,2	0,4	637		4	641	2,1
Seròs	13,1		0,1	13,2	1375,6	2.060		6	2.066	103,1
Torrefarrera	5,7		0,0	5,7	35,5	1.161		0	1.161	68,1
Torre-serona	1,1		0,0	1,1	346,1	879		0	879	88,7
Vilanova de la B.	12,5		0,0	12,5	1.411,6	2.351		0	2.351	103,5
Vilanova de S.	3,2		0,0	3,2	278,8	1.153		0	1.153	93,7
Total línea gas¹	208,7	22,3	17,0	248,0	15,7	56.123	17.229	1.285	74.636	49,4
Total comarca²	304,6	22,3	17,4	344,4	21,8	81.219	17.229	1.287	99.735	56,4

* El porcentaje de reducción de emisiones tiene en cuenta las emisiones debidas a energía de origen fósil no sustituida por el biometano.

¹ Suma para los municipios de la comarca con conducción de gas natural, incluido el municipio de Montoliu de Lleida.

² Suma para todos los municipios de la comarca, con o sin línea de gas natural.

Sea cual sea la solución tecnológica apropiada, al igual que en el caso de la FORM donde el limitante es la participación ciudadana, en el caso de la gestión de deyecciones el limitante es la implicación del ganadero, quien debería modificar sus métodos de manejo de los purines y retirarlos a la mayor brevedad posible de las naves del ganado, a fin de que el CH₄ que produce tenga la posibilidad de ser aprovechado.

Conclusiones

El estudio realizado muestra un potencial considerable tanto en lo que se refiere al aporte energético del biometano como a la reducción de emisiones. Es necesaria una visión global en lo referente a infraestructuras, áreas geográficas, desarrollo tecnológico necesario, implicación del ciudadano, etc., pero es una oportunidad relevante en el proceso de transición energética que incorpora varios sectores de manera transversal, solucionando tanto problemas energéticos como de gestión de residuos.

En caso de aprovechar completamente el recurso que representan las deyecciones, la fracción orgánica de residuos municipales, los lodos de depuradoras municipales y los residuos orgánicos industriales, se podría cubrir el consumo actual de la flota de autobuses de Lleida en un 100% y la demanda actual de gas natural de la comarca en un 44,1%, con aportaciones desiguales según el municipio y en caso que la red de gas llegara a todos ellos. En caso de considerar solamente los municipios con suministro actual de gas, esta cobertura sería del 31,6%. En esta situación se reduciría la emisión de gases de efecto invernadero, considerando solo emisiones de metano, en un 62,9% para el total de la comarca o del 57,5% en caso de considerar solo

los recursos orgánicos de los municipios con red de gas, y suponiendo que al municipio de Montoliu de Lleida llegue esta conducción, para aprovechar el metano producido en las instalaciones de tratamiento de residuos municipales de la comarca.

Los resultados son muy sensibles al tipo de gestión que se aplique a las deyecciones ganaderas, por lo cual es necesario dedicar un esfuerzo a organización, coordinación e implicación de los ganaderos.

De los residuos municipales ya se recolecta el gas del vertedero y se quema en antorcha. Su limpieza y enriquecimiento a biometano sería posible sin grandes inversiones en nuevas instalaciones de tratamiento de residuos, aparte de la inversión en la necesaria conducción de gas.

Los lodos de depuradoras municipales, sin considerar la de Lleida que ya produce biogás, y los residuos orgánicos industriales ya son gestionados actualmente en plantas de compostaje. Los gestores de estas plantas deberían estudiar con detalle la adopción del proceso de digestión anaerobia.

Este estudio debe considerarse una primera aproximación y solo pretende detectar limitantes para poder dedicarles atención preferente en estudios de campo más detallados. Así, la optimización del transporte de materias primas, sobre todo deyecciones, ya sea de sus fracciones o del gas recolectado, a instalaciones de tratamiento colectivo se considera un factor determinante para el éxito de un proyecto y, por tanto, debería tenerse en cuenta tanto su consumo energético como las emisiones de GEI asociadas. También la gestión de los nutrientes, como el nitrógeno y fósforo, ha de merecer una atención especial, ya que afecta a las emisiones GEI, a los consumos de energía, al consumo de recursos naturales y a otros impactos ambientales.

Referencias

- ACA (2021a).** Llista d'estacions depuradores d'aigua residual, actualització març 2021, Agència Catalana de l'Aigua, <http://aca.gencat.cat/ca/laigua/infraestructures/estacions-depuradores-daigua-residual/> (Acceso: marzo 2021)
- ACA (2021b).** Dades de producció de fangs de Catalunya, actualització 15.10.2019, Agència Catalana de l'Aigua, <http://aca.gencat.cat/ca/laigua/gestio-del-cicle-de-laigua/gestio-de-fangs/> (Acceso: marzo 2021)
- AEL (2021).** Agència de l'energia de Lleida, <https://lleidaenverd.paeria.cat/agencia-energia-lleida/>
- ARC (2014).** Estudi de la Composició dels Residus Municipals de Catalunya, Agència de Residus de Catalunya, Seminari sobre la Composició dels Residus Municipals, Barcelona, 10 diciembre 2014.
- Campos, E., Almirall, M., Mtnez-Almela, J., Palatsi, J., Flotats, X. (2008).** Feasibility study of the anaerobic digestion of dewatered pig slurry by means of polyacrylamide, *Bioresource Technology*, 99:387-395.
- DARP (2019).** Decret 153/2019, de 3 de juliol, de gestió de la fertilització del sòl i de les dejeccions ramaderes i d'aprovació del programa d'actuació a les zones vulnerables en relació amb la contaminació per nitrats que procedeixen de fonts agràries, (DOGC núm, 7911 - 05/07/2019, <https://portaljuridic.gencat.cat/eli/es-ct/d/2019/07/03/153>)
- DARP (2021).** RER – Registre d'explotacions ramaderes, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació, Generalitat de Catalunya, <http://agricultura.gencat.cat/ca/serveis/registres-oficials/ramaderia-sanitat-animal/registre-explotacions-ramaderes/> (Acceso: febrero 2021)
- DOC (2021).** Estadístiques de residus municipals, Dades obertes Catalunya, <https://analisi.transparenciacatalunya.cat/en/Medi-Ambient/Estad-stiques-de-residus-municipals/69zu-w48s> (Acceso: marzo 2021).
- EC (2019).** The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM/2019/ 640 final, Bruselas, 11.12.2019. https://ec.europa.eu/info/files/communication-european-green-deal_en (Acceso: marzo 2021)
- EP (2020).** Decisión del Parlamento Europeo de reducción de emisiones GEI del 60% en 2030. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20201002IPR88431/eu-climate-law-meps-want-to-increase-2030-emissions-reduction-target-to-60> (Acceso, mayo 2021).
- Feliu, A., Flotats, X. (2020).** Los gases renovables, Un vector energético emergente, Publicaciones de la Fundación Naturgy, Madrid, <https://www.fundacionnaturgy.org/publicacion/los-gases-renovables-un-vector-energetico-emergente/>
- Flotats, X., Burgos, E., Tey, L., Fresno, J. (2011).** La implicación ciudadana como factor clave para el éxito de los procesos de digestión anaerobia, *Infoenviro*, 62:39-43. <http://hdl.handle.net/2117/12231>
- Flotats, X. (2020).** Los gases renovables: un vector energético olvidado en España, *The conversation*, 20 julio, <https://theconversation.com/los-gases-renovables-un-vector-energetico-olvidado-en-espana-142311>
- Gavala, H.N., Yenai, U., Skiadas, I.V., Westermann, P., Ahring, B.K. (2003).** Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge, Effect of pre-treatment at elevated temperature, *Water Research*, 37:4561-457.

- Giuntoli, J., Agostini, A., Edwards, R., Marelli, L. (2017).** Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions, Calculated according to the methodology set in COM(2016) 767, Version 2, JRC Science and Policy Reports, European Commission, Report EUR 27215, <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC104759>
- IPCC (2019).** Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management.
- Mata-Alvarez, J. (2002).** Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes, IWA Publishing, London.
- MITERD (2021).** Sistema Español de Inventario de Emisiones, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/>
- Palatsi, J., Ripoll, F., Benzal, A., Pijuan, M., Romero-Güiza, M-S. (2021).** Enhancement of biological nutrient removal process with advanced process control tools in full-scale wastewater treatment plant. *Water Research*, 200: 117212. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135421004103>
- PEFCR (2018).** Product Environmental Footprint Category, Rules Guidance, https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEFCR_guidance_v6.3-2.pdf
- SDR (2021).** Sistema Documental de residuos, <https://sdr.arc.cat/cform/ListCaracteritzacions.do> (Acceso: marzo 2021).
- Silvestre, G., Fernández, B., Bonmatí, A. (2015).** Significance of anaerobic digestion as a source of clean Energy in wastewater treatment plants, *Energy Conversion and Management*, 101: 255-262.
- Vilamajó, C., Flotats, X. (2011).** Avaluació energètica de residus industrials biodegradables a Catalunya, *TECA (Revista de Tecnologia i Ciència dels Aliments)*, 13:3-10, DOI: <http://dx.doi.org/10.2436/20.2005.01.53>

El potencial del biometano
en una ciudad
de referencia: Lleida

