

## POTENCIAL DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA LA DIGESTIÓN ANAEROBIA EN ESPAÑA

GAITERO ÁLVAREZ, Andrea(1); FOLGUERAS DÍAZ, María Belén(2); DOMÍNGUEZ PADILLA, Antonio(3)

andreagaitero@gmail.com

(1)Biogas Fuel Cell, S.A., Departamento de I+D+i

(2)Universidad de Oviedo, Departamento de Energía

(3)Purines Almazán, S.L., Departamento de I+D+i

### RESUMEN

En la actualidad, el incremento del consumo ha provocado un aumento en el volumen y complejidad de los residuos agroindustriales generados, hecho que constituye una problemática a nivel mundial debido a su impacto negativo sobre el medioambiente. La digestión anaerobia (DA) aplicada a residuos permite el aprovechamiento de la energía almacenada en ellos, y reduce el volumen final a ser desechado. Se trata de un proceso biológico en ausencia de oxígeno que transforma la materia orgánica en biogás, de interés como biocombustible. Por tanto, esta tecnología aúna esfuerzos para una gestión energética y de residuos racional. Según el proyecto *PROBIOGÁS*, el potencial accesible de residuos agroindustriales en España supera las 4.300 ktep [1], y según los datos publicados en el *Anuario de Estadística*, el consumo de energía primaria en 2012 alcanzó las 128.908,55 ktep [2], por lo que el biogás podría contribuir a cubrir más del 3,3% de la energía primaria. Además de la problemática de acumulación de grandes volúmenes, también existe otro impacto medioambiental asociado a la generación de gases de efecto invernadero (GEI) durante la degradación natural de los residuos. Por ello, su valorización energética mediante DA también contribuye a disminuir estas emisiones, mediante la recuperación del biogás. A esto hay que añadir, una reducción indirecta de GEI por la sustitución por biogás de fuentes no renovables de energía. Según el *Informe de Emisiones de GEI en España*, entre 2008-2012 se emitieron de media 360.924,78 kt de CO<sub>2</sub> equivalente al año, de las que el 23,5% se debe a la generación eléctrica, y un 10,8% a la agricultura y ganadería [3]. Por ello, la implantación de la DA podría contribuir a reducir las emisiones en ambos sectores. En este trabajo se ha llevado a cabo una estimación de las emisiones directas de GEI que se evitarían teniendo en cuenta el potencial accesible de los residuos agroindustriales en España que podrían dedicarse a la DA. Sólo para el caso del aprovechamiento de deyecciones ganaderas, se podrían llegar a evitar más de 21.900 kt de CO<sub>2</sub>-eq, es decir, cerca del 59,3% de las emisiones del sector agroganadero.

**Palabras clave:** digestión anaerobia, biogás, emisiones GEI

## 1.- INTRODUCCIÓN

El volumen y complejidad de los residuos orgánicos generados en la actualidad produce un impacto negativo sobre el medioambiente. Entre los residuos orgánicos destacan, por su problemática de gestión, los del sector agroindustrial, y entre ellos, cabe mencionar los residuos ganaderos (dyecciones animales). La cantidad de residuos ganaderos generados anualmente en España está entorno a las 50 millones de toneladas [4]. La separación progresiva de la explotación ganadera y la agrícola, supone una problemática para la gestión de estos residuos, ya que muchas explotaciones no poseen un terreno asociado suficiente para reutilizarlos como abono para el campo. Además, la acumulación de dyecciones implica riesgos sanitarios e impactos ambientales derivados de la dispersión de olor, la contaminación de agua y suelos y, especialmente, las emisiones atmosféricas de gases efecto invernadero (GEI), como el metano ( $\text{CH}_4$ ), el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Por todo ello, existe la necesidad de desarrollar medidas de carácter medioambiental que permitan una gestión sostenible de estos residuos. La digestión anaerobia (DA) aplicada a residuos orgánicos es una opción adecuada de gestión y valorización económica que permite la reducción y estabilización del residuo y que además produce biogás (gas de alto poder calorífico y de origen renovable, de interés como combustible). Ya en el *Plan de Energías Renovables en España 2005-2010* se indicaba la necesidad de desarrollar la tecnología de DA para el tratamiento de los purines, en sustitución del proceso convencional empleado de secado de purines a partir de la combustión de gas natural, proceso poco eficiente desde un punto de vista energético y económico [4].

Además de la recuperación de energía en forma de biogás, la DA aplicada a residuos ganaderos también contribuye a reducir las emisiones de GEI a la atmósfera. En España, entre 2008 y 2012 se emitieron anualmente una media de 360.924,78 kilotoneladas de  $\text{CO}_2$  equivalente [3], lo que supone un 24,5% de aumento con respecto a las emisiones del año base tomado en el Protocolo de Kyoto (1990), incumpliendo el objetivo establecido de no sobrepasar el 15%. Las emisiones más importantes se deben a la generación de electricidad (23,5%) y al transporte por carretera (21,7%), aunque no menos significativas son las emisiones asociadas al sector agroganadero (10,8%), ni las producidas por el tratamiento y eliminación de residuos (4,3%) [5].

Este trabajo tiene el objetivo de estimar cuantitativamente la reducción de emisiones directas de GEI relacionadas con el aprovechamiento de los residuos ganaderos en España. En primer lugar, se describe brevemente el proceso de DA y el tipo de residuos orgánicos que podrían destinarse a esta tecnología. A continuación, se analiza el potencial accesible de los residuos orgánicos en España a partir de la cuantificación realizada bajo el proyecto *PROBIOGÁS* en 2010 [1]. Para concluir, se calcula el ahorro anual de emisiones de GEI que se obtendría mediante la DA de residuos ganaderos y el posterior aprovechamiento del biogás obtenido.

## 2.- LA DIGESTIÓN ANAEROBIA Y COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS

La DA o biometanización es un proceso microbiológico que, en condiciones de ausencia de oxígeno, permite transformar la materia orgánica en metano. Es un proceso en el que un grupo de bacterias transforman las sustancias orgánicas en un producto gaseoso (biogás) y en un subproducto sólido (digestato). El biogás está formado principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), además de pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). También puede contener  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{O}_2$ , vapor de agua y compuestos orgánicos volátiles (COV) como hidrocarburos halogenados y siloxanos. Por su parte, el digestato está compuesto por una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc) y compuestos de difícil degradación. Debido a su alto porcentaje en metano, el biogás puede ser usado para su aprovechamiento energético mientras que el digestato, por su contenido en nutrientes, puede ser empleado en agricultura como abono o enmienda del suelo.

El proceso bioquímico de la DA se puede representar mediante una simple reacción, aunque en realidad refleja una serie de etapas secuenciales y/o simultáneas en las que están implicadas diversas especies de bacterias. La ecuación 1 refleja como los compuestos orgánicos son transformados por la acción microbiana a metano, dióxido de carbono y agua [6].



(donde  $r + s = m$ ,  $4r + 2t = n$  y  $2s + t = v$ )

En principio, cualquier material compuesto por materia orgánica (**biomasa**) fácilmente biodegradable puede ser aprovechado para la producción de biogás. La cantidad de biogás producido y su composición dependen directamente del tipo de materia prima empleada en el proceso, así como de los parámetros operacionales del mismo. Una composición media del biogás producido mediante DA podría ser el que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición orientativa del biogás [6]

Composición del biogás (%vol)			
CH <sub>4</sub>	55-75 %	N <sub>2</sub>	1-5 %
CO <sub>2</sub>	25-45 %	H <sub>2</sub>	0-3 %
H <sub>2</sub> O	1-2 %	H <sub>2</sub> S	0.1-0.5 %
CO	0-0.3 %	O <sub>2</sub>	0.1-1 %

### 3.- MATERIAS PRIMAS PARA LADA

Dentro de la biomasa susceptible de aprovechamiento por DA, se pueden diferenciar cuatro grandes grupos: la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), los lodos de depuración (lodos EDAR), los residuos agroindustriales y los denominados cultivos energéticos.

Los **residuos FORSU** se refieren a la biomasa obtenida de la recogida selectiva de residuos. Dentro de este grupo también podrían incluirse los residuos de poda y jardinería y los procedentes del canal HORECA (residuos originados en Hostelería, Restauración y Cafeterías). Los **lodos de depuradoras** son el residuo compuesto principalmente de agua que se produce en las estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas y que contienen materia orgánica en suspensión. Los **residuos agroindustriales** están relacionados con los procesos de transformación de productos llevados a cabo en la agricultura, la ganadería, la actividad forestal y la pesca. Según su procedencia, pueden clasificarse a su vez en cuatro categorías: residuos ganaderos (desechos animales), residuos de la agricultura (restos de cultivos), residuos de la industria bioenergética (como por ejemplo la glicerina) y residuos industriales asociados a la producción de alimentos. Este último grupo comprende desechos obtenidos como resultado de los procesos de transformación de alimentos, tanto de origen vegetal como animal (subproductos de mataderos y de pescado, excedentes y productos no conformes hortofrutícolas, efluentes de cerveceras y destilerías, etc).

El último grupo de materias primas para la DA son los **cultivos energéticos** (como maíz, cereales o sorgo). Se entiende por cultivos energéticos aquellos implantados y explotados con el único objetivo de obtener biomasa para su conversión en energía utilizable. Este trabajo centra su atención en el aprovechamiento de residuos orgánicos, especialmente los ganaderos, por lo que no se incluirá aquí el estudio de los cultivos energéticos, al no tratarse de un residuo propiamente dicho y debido a su problemática social por competir con cultivos con fines alimentarios.

### 4.- POTENCIAL DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN ESPAÑA

La capacidad de producir biogás de un residuo depende de su contenido en materia orgánica biodegradable. Un parámetro para cuantificar la materia orgánica degradable de un residuo es la cantidad en sólidos volátiles (SV). Todos los residuos o subproductos orgánicos se caracterizan por su contenido en humedad y en **sólidos totales** o **ST** (proporción de sólido que queda tras la evaporación y secado de una muestra). Dentro de los sólidos totales de un residuo, a su vez, se pueden diferenciar los **sólidos volátiles** o **SV** (que es la fracción orgánica susceptible de producir biogás) y la fracción inorgánica del residuo y que, por tanto, no es transformable en biogás. En la Tabla 2 se muestra el contenido en ST y SV de algunos residuos orgánicos descritos en la literatura. Una vez más hay que tener en cuenta la gran heterogeneidad y variabilidad de estos residuos, por lo que se trata de valores orientativos.

Tabla 2. Caracterización de los diferentes residuos orgánicos con potencial de biometanización. Adaptado de [1, 7]

	% ST <sup>(1)</sup>	% SV <sup>(2)</sup>
<b>Residuos ganaderos</b>		
Purín de cerdo	13-22	75
Estiércol de vaca	18-22	80
Gallinaza	42-78	75
Estiércol de ovejas, cabras y equinos	21-38	75-80
<b>Residuos agroindustriales</b>		
Subproductos de matadero de carne y ave	15-45	85-95
Harinas cárnicas (cat. 2) <sup>(3)</sup>	90-99	81-98
Residuos de pescado	35-45	73-86
Prod excedentes <sup>(4)</sup> , no conformes <sup>(5)</sup> y residuos de hortalizas	4-22	79-99
Prod excedentes, no conformes y residuos de cítricos	12-20	96
Prod excedentes, no conformes y residuos de frutales no cítricos	9-30	97
Bagazo (residuo de industria cervecera)	19-29	96
Almazaras (residuo de industria del aceite)	12-39	90
Orojo (residuo de industria del vino)	12-14	86
Magalla (residuo de industria de la sidra)	20-30	85
Melazas (residuo de la industria azucarera)	80-90	88
Glicerina (subproducto del biodiesel)	78-100	99
Materia prima cereal (subproducto del bioetanol)	72-100	94
Pulpa de remolacha (subproducto del bioetanol)	66-100	92
<b>Lodos de depuradoras</b>		
Lodos EDAR de industria cárnica	10	65-90
Lodos EDAR de industria láctea	10	65-90
Lodos EDAR de transformación de vegetales	10	65-90
<b>Residuos FORSU <sup>(6)</sup></b>		
Restos de comida	10	80
Residuos de jardinería	60-70	90
(1) Cantidad de materia que queda como residuo después del secado o evaporación a 105°C (se expresa en gramos de ST por cada 100 gramos de residuo) (2) Pérdida de peso al someter los ST a combustión (550°C) (se expresa en gramos de SV por cada 100 gramos de ST) (3) Categoría 2 según el reglamento de residuos SANDACH (Subproductos Animales No Destinados Al Consumo Humano): materiales que pueden ser usados para fabricación de abonos y enmiendas del suelo (4) Productos excedentes: retiradas en virtud de la aplicación de la Política Agraria Común (5) Productos no conformes: productos no aptos para su comercialización por presentar desperfectos o podridos (6) Datos de residuos FORSU extraídos de referencia n° [7]		

El proyecto *PROBIOGÁS*, llevado a cabo entre 2007 y 2011 en España, tuvo como objetivo el desarrollo de sistemas sostenibles de producción y uso de biogás en entornos agroindustriales, así como la demostración de su viabilidad y promoción en España. Fruto de estos estudios, se elaboraron informes de cuantificación y caracterización de los distintos residuos susceptibles de uso para la DA [1]. En la Tabla 3 se muestra la cuantificación a nivel nacional de los residuos orgánicos potencialmente accesibles más representativos.

Tabla 3. Cuantificación de residuos orgánicos en España (2010). Adaptado de referencias [1,2,5 y 8]

	Producción (t/año)
<b>Residuos ganaderos</b>	
Purín de cerdo	23.430.166
Estiércol de vaca	14.146.063
Gallinaza	3.024.831
Estiércol de ovejas, cabras y equinos	8.323.058
<b>Residuos agroindustriales</b>	
Subproductos de matadero de carne y ave	1.621.925
Harinas cárnicas (cat. 2)	9.000
Residuos de pescado	382.819
Retiradas, prod. no conformes y residuos de hortalizas	1.380.061
Retiradas, prod. no conformes y residuos de cítricos	862.105

Retiradas, prod. no conformes y residuos de frutales no cítricos	349.245
Bagazo (residuo de industria cervecera)	697.240
Almazaras (residuo de industria del aceite)	4.316.664
Orujo (residuo de industria del vino)	872.390
Magalla (residuo de industria de la sidra)	15.264
Melazas (residuo de la industria azucarera)	619.891
Glicerina (subproducto del biodiesel)	248.634
Materia prima cereal (subproducto del bioetanol)	315.086
Pulpa de remolacha (subproducto del bioetanol)	31.408
<b>Lodos de depuradoras</b>	
Lodos EDAR de industria cárnica	307.284
Lodos EDAR de industria láctea	303.262
Lodos EDAR de transformación de vegetales	156.191
<b>Residuos FORSU<sup>(1)</sup></b>	
Mezcla de residuos municipales <sup>(2)</sup>	8.087.727
Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes	558.430
Residuos biodegradables de parques y jardines	392.480
(1) Cantidades de residuos urbanos recogidos separadamente en 2010, según los datos de la tabla 8.1 del Anuario de Estadística 2011 publicado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente. Referencia nº [2]. (2) Valor estimado de residuos FORSU teniendo en cuenta la composición media de los RSU (43% de materia orgánica) [8] y la cantidad de mezcla de residuos municipales recogidos en 2010 (18.808.667t) [2].	

La disponibilidad de cada tipo de residuo para el proceso de DA es difícil de determinar puesto que existen diversos usos alternativos distintos para cada uno de ellos. El que un residuo sea finalmente destinado a la producción de biogás puede depender de cuestiones como la legislación medioambiental de aplicación, las normativas sanitarias, las tarifas eléctricas para este tipo de instalaciones, etc. Por ello, en la evaluación realizada por *PROBIOGÁS* de la capacidad productiva de biogás en España, se han estimado una serie de porcentajes de minoración para cada tipo de materia prima y zona geográfica, teniendo en cuenta los principales usos alternativos en cada caso. De esta forma, se distinguen tres conceptos; el **potencial total (PT)**, que considera la producción completa de cada materia susceptible de ser degradada, el **potencial accesible (PA)**, que sólo tiene en cuenta aquellos residuos cuya recogida y transporte resulta viable, y el **potencial disponible (PD)**, que descuenta al potencial accesible aquellas cantidades que se destinan a otros usos alternativos [1]. Por tanto, estos dos últimos datos son los que permiten analizar el potencial de desarrollo de la DA en España. La Tabla 4 muestra una estimación de los potenciales accesibles y disponibles en España para los residuos agroindustriales.

Tabla 4. Potencial accesible y disponible de biogás agroindustrial en España en 2010 [1]

	Potencial accesible (ktep/año)	Potencial disponible (ktep/año)	% PD/PA
Ganadería	1.361,6	1.130,1	83
Industrias alimentarias	2.938,8	302,5	10
<i>Origen Animal</i>	136,9	82,1	60
<i>Origen Vegetal</i>	2.794,6	214,5	8
<i>Lodos EDAR Industriales</i>	7,4	5,9	80
Plantas de biocombustibles	93,3	18,7	20
<b>TOTAL</b>	<b>4.393,8</b>	<b>1.451,5</b>	<b>33</b>

En 2012, el consumo de energía primaria en España alcanzó las 128.908,55 ktep [5], con el siguiente reparto para cada fuente energética: 12% carbón, 41,9% petróleo, 21,9% gas natural, 12,4% nuclear y 12,4% renovables. Según la Tabla 4, con el potencial accesible de residuos agroindustriales en España, sólo el biogás procedente de residuos agroindustriales podría contribuir a cubrir el 3,41% del consumo de energía primaria, reduciendo proporcionalmente el uso de recursos fósiles como el gas natural.

## 5.- CÁLCULO DE EMISIONES DE GEI ASOCIADAS A RESIDUOS GANADEROS

El objetivo de este trabajo es comparar, en cuanto a emisiones se refiere, el impacto que ejercen sobre el calentamiento global los siguientes escenarios: **i) la degradación natural de las deyecciones**

**ganaderas y ii) la digestión anaerobia de las deyecciones y posterior aprovechamiento del biogás como combustible.**

En el **primer escenario**, la degradación natural de las deyecciones ganaderas produce emisiones de GEI a la atmósfera; principalmente  $\text{CH}_4$ , aunque también puede generar en menor cantidad  $\text{N}_2\text{O}$ . Dependiendo de los sistemas de gestión de deyecciones empleados, estos gases se generarán en distinta proporción. Cuando el estiércol o purín es almacenado en tanques, se favorecen las condiciones anaerobias, lo que da lugar a la producción de cantidades significativas de  $\text{CH}_4$ . En cambio, cuando el estiércol se maneja como sólido o cuando se deposita en prados, tiende a descomponerse bajo condiciones más aeróbicas y se produce menos  $\text{CH}_4$  y más  $\text{N}_2\text{O}$ . La temperatura ambiente y el tiempo de retención también influyen en la cantidad de metano producida [9].

En el **segundo escenario**, se lleva a cabo la DA de los residuos ganaderos en reactores industriales, para después aprovechar energéticamente el biogás producido mediante combustión en un motor. Este biogás obtenido a partir de residuos es considerado como fuente de energía renovable, ya que utiliza la energía contenida en la biomasa y libera  $\text{CO}_2$  procedente de formas de **carbono biosférico** por lo que se considera, idealmente, una emisión nula de  $\text{CO}_2$ .

Desde este punto de vista, las emisiones de GEI antropogénico generadas podrían considerarse nulas en ambos escenarios. Pero en realidad, si se analiza con más detalle, los gases emitidos en ambos casos no son los mismos, por lo que su impacto sobre el calentamiento global será distinto. En el primero de los escenarios el metano producido es emitido directamente a la atmósfera, mientras que en el segundo escenario este metano se aprovecha energéticamente por combustión, generando emisiones finales de  $\text{CO}_2$  en lugar de  $\text{CH}_4$  (Figura 1). Además, la DA también evita las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  que se producirían en la degradación natural, las cuales a pesar de no ser abundantes tienen un impacto medioambiental considerable.

Cada gas de efecto invernadero afecta en distinta medida a la atmósfera y permanece en ella durante un período diferente. El efecto de un determinado gas sobre el calentamiento global se expresa mediante un factor comparativo con respecto al efecto causado por el mismo volumen de  $\text{CO}_2$  y durante el mismo período de tiempo; el **Potencial de Calentamiento Global (PCG)**. Por ello, para la comparación de ambos escenarios, hay que tener en cuenta que el PCG del  $\text{CH}_4$  es 25 y el del  $\text{N}_2\text{O}$  es 298 (según los factores establecidos por el *Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático* a un horizonte de 100 años)[10].

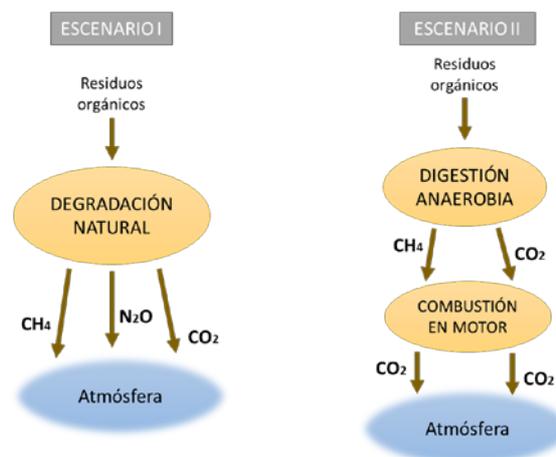


Figura 1. Emisiones a la atmósfera producidas bajo dos escenarios distintos: i) degradación natural y ii) digestión anaerobia y posterior combustión del biogás. Elaboración propia.

A partir de la cuantificación de residuos ganaderos potencialmente accesibles (Tabla 3), y de los potenciales de producción de metano recogidos en la literatura para cada tipo de residuo, se han estimado las emisiones de  $\text{CO}_2$  equivalente en ambos escenarios (Tabla 5).

Para estimar las emisiones del Escenario I se ha considerado que todos los purines y estiércoles potencialmente accesibles han sido almacenados en grandes cantidades mediante balsas o tanques abiertos, favoreciendo así una descomposición bajo condiciones anaerobias. A pesar de ello, hay que tener en cuenta que parte de ese residuo (la capa más superficial que está en contacto con la atmósfera) se degradará mediante la acción del oxígeno (es decir, bajo condiciones aerobias). Por ello, la cantidad de CH<sub>4</sub> emitido a la atmósfera en la degradación natural será menor que la que se produciría en la DA. Esta minoración se puede cuantificar según la *Metodología IPCC para el cálculo de emisiones ganaderas* [11] mediante el factor MCF, que indica el porcentaje de conversión en metano en función del sistema de almacenamiento utilizado y de la temperatura. En este trabajo se ha estimado un MCF igual a 70%, el cual es un valor para una temperatura media de 12°C y para un sistema de almacenamiento en balsas o tanques.

Además de metano, también se producirá N<sub>2</sub>O, el cual es calculado a partir del contenido en N presente en las deyecciones ganaderas (estos valores vienen recogidos en la Tabla 5 para cada categoría animal [12]). Según la *Metodología IPCC* [11], para calcular las emisiones directas de N<sub>2</sub>O se multiplica la cantidad de N presente en las deyecciones por dos valores: el factor EF, el cual indica el porcentaje de ese N que da lugar a la formación de N<sub>2</sub>O (0,005), y por la constante 44/28 que permite transformar los kg de N en kg de N<sub>2</sub>O.

Para estimar las emisiones del Escenario II, se ha supuesto una composición del biogás de 55% vol CH<sub>4</sub> y 45% vol CO<sub>2</sub> (despreciando posibles trazas de otros gases), lo cual es un valor conservador ya que el contenido en metano suele estar entre 55-75% vol. Además, para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por la combustión del metano, se ha tenido en cuenta la relación estequiométrica de dicha reacción (ecuación 2) y los pesos moleculares de ambos gases (P<sub>CH<sub>4</sub></sub>=16g/mol y P<sub>CO<sub>2</sub></sub>=44g/mol).

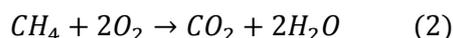


Tabla 5. Estimación de las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>-eq del Escenario II frente al Escenario I. Elaboración propia.

RESIDUOS GANADEROS	Producción anual (toneladas) PROBIOGÁS 2010 [1]	Contenido en ST (%) PROBIOGÁS 2010 [1]	Producción biogás (Nm <sup>3</sup> /t <sub>ST</sub> ) K.C. Surendra et al. (2014) [11]	Contenido en N del residuo (kg/tresiduo) Iglesias L. (1993) [12]	Escenario I: Degradación natural				Escenario II: DA y combustión de biogás			Ventaja de Escenario II frente a Escenario I: Reducción de emisiones (t CO <sub>2</sub> -eq/año)
					Emisiones de CH <sub>4</sub> (t/año)	Emisiones de N <sub>2</sub> O (t/año)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (t/año)	Emisiones de CO <sub>2</sub> -eq (t/año)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (t/año)	Emisiones de CO <sub>2</sub> de la combustión de CH <sub>4</sub> (t/año)	Emisiones de CO <sub>2</sub> -eq (t/año)	
Purín de cerdo	23.430.166	17,5	375	7	423.619,30	1.288,66	1.356.167,30	12.330.670,34	1.356.167,30	1.664.218,70	3.020.385,99	9.310.284,35
Estiércol de vaca	14.146.063	20,0	250	4	194.866,26	489,05	623.841,38	5.641.234,70	623.841,38	765.546,03	1.389.387,41	4.251.847,30
Gallinaza	3.024.831	60,0	310	10	155.004,79	237,67	496.229,58	4.442.173,60	496.229,58	608.947,39	1.105.176,97	3.336.996,63
Estiércol ovejas, cabras, equinos	8.323.058	29,5	350	4	236.757,66	261,58	757.951,76	6.754.844,70	757.951,76	930.119,39	1.688.071,15	5.066.773,55
					1.010.248,02	2.276,96	3.234.190,01	29.168.923,34	3.234.190,01	3.968.831,50	7.203.021,52	21.965.901,82

**Consideraciones:**

- El potencial de producción de biogás del estiércol de oveja se ha tomado como referencia para el grupo referido a ovejas, cabras y equinos [11].
- El contenido de N del estiércol de ovejas, cabras y equinos se ha supuesto igual que para el estiércol de vaca [12].
- Composición media del biogás de 55% CH<sub>4</sub> y 45% CO<sub>2</sub> (%vol).
- Densidad CO<sub>2</sub> en condiciones normales (273K, 1atm): 1,96kg/m<sup>3</sup>
- Peso molecular del CO<sub>2</sub> = 44 g
- PCG del CO<sub>2</sub> (para un horizonte temporal de 100 años) = 1 [10]
- Densidad CH<sub>4</sub> en condiciones normales (273K, 1atm): 0,7156kg/m<sup>3</sup>
- Peso molecular del CH<sub>4</sub> = 16 g
- PCG del CH<sub>4</sub> (para un horizonte temporal de 100 años) = 25 [10]
- MCF (% de conversión en CH<sub>4</sub> en función de la temperatura y del sistema de gestión empleado) = 70% [10]
- PCG del N<sub>2</sub>O (para un horizonte temporal de 100 años) = 298 [10]
- EF (factor de conversión en N<sub>2</sub>O en función del sistema de gestión) = 0,005 [10]
- Conversión de emisiones N<sub>2</sub>O-N en emisiones N<sub>2</sub>O = 44/28 [10]

**6.- CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES**

A partir de los cálculos realizados anteriormente, se puede concluir que el desarrollo del Escenario II frente al Escenario I en España, podría evitar la emisión de 21.900 kilotoneladas de CO<sub>2</sub>-eq al año. Es decir, el tratamiento de los residuos ganaderos mediante DA y el posterior aprovechamiento

energético del biogás permitiría **reducir en un 75,3%** las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub>+N<sub>2</sub>O) que se producen durante la degradación natural de estos residuos en el medioambiente.

Además, teniendo en cuenta que el sector agrícola y ganadero generó 37.031 kt CO<sub>2</sub>-eq en 2012 [3], con la valorización de las deyecciones ganaderas mediante DA se podría haber evitado el 59,3% de las emisiones de este sector. Con respecto a la cantidad total de GEI emitidos al año, este ahorro se traduce en una reducción del **6,1%** de las emisiones anuales.

Aparte de la reducción directa de emisiones de CO<sub>2</sub>-eq estimada en este trabajo, no hay que olvidar que el desarrollo del biogás contribuiría a reducir las emisiones de GEI que se producen en otros puntos de emisión. Por un lado, el empleo de biogás como fuente energética permite la sustitución de otras fuentes de energía de origen fósil como el gas natural, por lo que se disminuirían proporcionalmente las emisiones del sector energético. Por otro lado, el aprovechamiento del digestato como enmienda orgánica del suelo, da lugar también a una disminución en el empleo de fertilizantes inorgánicos, por lo que también se reducirían de forma proporcional las emisiones de GEI derivadas de los procesos productivos de dichos fertilizantes.

Además de estos beneficios ambientales, el desarrollo de la DA en España también proporciona beneficios económicos derivados de la reducción de costes para el país por la compra de derechos de emisión para el cumplimiento de los acuerdos establecidos en el Protocolo de Kyoto. Cabe destacar también que la sustitución por biogás de parte del gas natural empleado hoy en día, permitiría reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles, ya que para un biogás de composición 70% de CH<sub>4</sub> y 30% de CO<sub>2</sub>, el poder calorífico de 1 m<sup>3</sup> equivale a 0,7 m<sup>3</sup> de gas natural.

Por todos estos motivos, la tecnología de biometanización es considerada en Europa como una tecnología de interés, tanto para el tratamiento de residuos como para la recuperación y aprovechamiento de energía, y las directivas actuales promueven el empleo de subproductos y residuos orgánicos para tal fin.

## 7.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALFONSO, D. BRINES, N. PEÑALVO, E. VARGAS, C. A. PÉREZ-NAVARRO, A. GÓMEZ, P. PASCUAL, A. RUIZ, B. *Cuantificación de materias primas para la producción de biogás*. Proyecto Singular Estratégico PROBIOGÁS. 2010. Disponible en: [www.probiogas.es](http://www.probiogas.es) [Consulta: 1 Julio 2014]
- [2] MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIOAMBIENTE. *Anuario de Estadística 2011*. Madrid. 2012. Disponible en: [www.magrama.gob.es](http://www.magrama.gob.es) [Consulta: 10 Diciembre 2014]
- [3] SANTAMARTA FLÓREZ, J. ASUNCIÓN HIGUERAS, M. WWF España. *Informe de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en España 1990-2012*. 2013. Disponible en: [www.wwf.es](http://www.wwf.es) [Consulta: 8 Diciembre 2014]
- [4] FIERRO, J. GÓMEZ, X. MURPHY, J.D. *What is the resource of second generation gaseous transport biofuels based on pig slurries in Spain?* Revista Applied Energy, 2014, vol.11, pp. 783-789.
- [5] MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIOAMBIENTE. *Anuario de Estadística 2013*. Madrid. 2014. Disponible en: [www.magrama.gob.es](http://www.magrama.gob.es) [Consulta: 26 Diciembre 2014]
- [6] LOBATO FUERTES, ÁLVARO. Tesis. Estudio de la co-digestión anaerobia de residuos ganaderos con otros substratos agroindustriales. León. 2012. Universidad de León.
- [7] SHOMAKER, A.H.H.M., BOERBOOM, A.A.M., VISSER, A. PFEIFER, A.E. AD-NETT Project FAIR-CT96-2083 (DG12-SSMI). *Anaerobic digestion of agro-industrial*

- wastes: information networks. *Technical summary on gas treatment*. The Netherlands. 2000.
- [8] MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIOAMBIENTE. *Programa Estatal de Prevención de Residuos*. Madrid. 2013.
- [9] PINEDA CASTRO, C. FLOTATS I RIPOLI, X. Tesina. *Evaluación de diagramas de flujo de sistemas de tratamiento de deyecciones ganaderas que incluyan codigestión anaerobia*. 2011. Universidad Politécnica de Cataluña.
- [10] GRUPO INTERGUBERNAMENTAL SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (siglas en inglés: IPCC). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Versión revisada en 1996.
- [11] SURENDRA, K.C. TAKARA, D. HASHIMOTO, A.G. KUMAR KHANAL, SAMIR. *Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges*. Revista Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014, vol.31, pp. 846-859. USA. Ed. Elsevier.
- [12] IGLESIAS MARTÍNEZ, L. MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. *El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente*. Dirección General de Infraestructuras y Cooperación. Madrid. 1993.