

## **Producción de biometano para combustible de transporte a partir de residuos de biomasa**

D. Hidalgo<sup>1,2\*</sup>, G. Antolín<sup>1,2</sup>, J.M. Martín-Marroquín<sup>1,2</sup>, I. Alvarellós<sup>1</sup>, S. Sanz<sup>1</sup>, L. Garrote<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CARTIF Technology Centre, Boecillo (Valladolid), 47151, Spain

<sup>2</sup>ITAP, University of Valladolid, Valladolid, 47010, Spain

(E-mail\*: dolhid@cartif.es)

### **Resumen**

El biometano, también llamado gas natural renovable, es un biocombustible producido a partir del biogás que se genera en la digestión anaerobia de los residuos orgánicos. La composición química del biometano es similar a la del gas natural, con la ventaja de que no contribuye al calentamiento global porque el carbono que lo constituye ya estaba presente en la atmósfera al provenir de restos de plantas y animales.

El biometano puede utilizarse en motores diésel y motores a gasolina, como reemplazo parcial o total de los combustibles fósiles. El conocimiento técnico para producir biogás, refinarlo a biometano, presurizar el biometano y emplearlo en los motores de combustión interna, ya está desarrollado. Sin embargo, dicha tecnología necesita ser adaptada a las condiciones de cada país, para poder promover el uso de este biocombustible con bases sólidas.

Por otro lado, el empleo de residuos orgánicos lignocelulósicos para la generación de biometano es aún reducido debido a su baja biodegradabilidad, pese a que constituyen hasta el 30% de los residuos orgánicos disponibles en los países iberoamericanos. Es por ello que hay que tratar de valorizar estas corrientes residuales, y hacer viable, no solo técnica, sino también económicamente, su digestión en reactores anaerobios.

En este marco, el [proyecto BIOMETRANS](#) busca fomentar la valorización de los residuos de biomasa seca y húmeda que se generan en la Región Iberoamericana mediante la producción de biometano, y fomentar su empleo como biocombustible de transporte. Para ello, se están diseñando procesos innovadores que permitirán organizar la logística del acopio de biomasa y la adecuación de la misma para su tratamiento por digestión anaerobia. En este sentido, se están investigando diferentes tecnologías de pretratamiento de la biomasa para fomentar su biodegradabilidad y comparando la evolución del proceso de digestión anaerobia en una y dos fases. Asimismo, se investigan diferentes tecnologías de refinado del biogás. También, en el marco del proyecto está previsto realizar un modelo de comercialización del biometano en la Región, evaluando su potencial impacto ambiental, social y económico, y plantear el modelo de utilizar exclusivamente biocarburantes en los vehículos de transporte (mezcla de biometano y biodiesel). El resultado será un proceso para producir biometano a partir de biomasa residual, optimizado de forma integral, adaptado a las condiciones de los países iberoamericanos y fácilmente transferible.

### **Palabras clave**

Biocombustible, biogás, biomasa lignocelulósica, biometano, pretratamiento.

## Introducción

La búsqueda de combustibles menos contaminantes, así como la valorización de los residuos son prioridades estratégicas en las políticas medioambientales de la mayoría de los países iberoamericanos. El Medio Ambiente, incluyendo la gestión sostenible de los recursos y el cambio climático, fueron temas centrales en la Cumbre Iberoamericana de 2002 y se han tratado también ampliamente en todas las cumbres posteriores. En la cumbre de 2016, las Jefas y Jefes de Estado y de Gobierno de los 22 países iberoamericanos acordaron “promover proyectos orientados a la protección del medio ambiente, el respeto a la madre tierra y el uso sostenible de los recursos”.

El biogás se produce durante la digestión anaerobia de sustratos orgánicos (en digestores anaerobios industriales, vertederos, o directamente en la naturaleza) y puede ser utilizado como una fuente de energía renovable en sustitución de los combustibles fósiles. La naturaleza de las materias primas y las condiciones operativas utilizadas durante la digestión anaerobia, determinan la composición química del biogás. El biogás en bruto se compone principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ , 40-75%) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ , 15-60%). Trazas de otros componentes tales como agua ( $\text{H}_2\text{O}$ , 5-10%), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ , 0,005 a 2%), siloxanos (0-0,02%), hidrocarburos halogenados (VOC, < 0,6%), amoníaco ( $\text{NH}_3$ , < 1%), oxígeno ( $\text{O}_2$ , 0-1%), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ , < 0,6%) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ , 0-2%) que pueden estar presentes y pueden ser incómodos cuando no se eliminan.

Dependiendo del uso final previsto para el biogás serán necesarios diferentes tratamientos. Para algunas aplicaciones, tales como su uso en plantas de cogeneración, el biogás tendrá sólo que ser limpiado para eliminar el agua, partículas y los elementos traza. Sin embargo, para otras aplicaciones más demandantes, donde es importante tener una corriente de gas con alto contenido energético, para combustible de vehículo o para inyección en la red de gas natural (GN), el biogás necesitará también ser sometido a un proceso de refinado tras la limpieza inicial.

El refinado de biogás, también llamado *upgrading*, se define como la eliminación del  $\text{CO}_2$  de la corriente, lo que resulta en un aumento de la densidad de energía ya que la concentración de  $\text{CH}_4$  aumenta por encima de 95%. También es posible llamar al proceso de refinado como proceso de mejora del biogás hasta el nivel de poder ser un sustitutivo del GN o GN comprimido. Hoy existen varias técnicas comerciales para el refinado del biogás y nuevas técnicas que están en continuo desarrollo. La opción tecnológica más utilizada es la de absorción (lavado con agua y lavado con solución de aminas), la adsorción (adsorción por cambio de presión o PSA) y las membranas (de permeación de gas). El proceso de *upgrading* del biogás ha ganado atención en los últimos años debido al aumento de los precios de los combustibles de origen fósil y los objetivos cada vez mayores de cuotas a alcanzar en la utilización de combustibles renovables en la mayor parte de los países desarrollados. Como consecuencia de ello, nuevas plantas de refinado de biogás se están construyendo continuamente en todo el mundo, como lo demuestra el hecho de que el número de plantas era superior a 400 en 2014 cuando este número sólo era de 100 en 2009. La mayoría de estas plantas se encuentran en Europa, siendo Alemania y Suecia los países precursores.

El refinado del biogás genera nuevas posibilidades para su uso, pero también aumenta los costes asociados con la producción de biogás. Por tanto, es importante contar con procesos de *upgrading* optimizados en términos de bajo consumo de energía y alta

eficiencia, capaces de evitar, o al menos minimizar, las pérdidas de CH<sub>4</sub> en cualquier corriente que abandone el tratamiento de refinado, lo que es importante tanto desde un punto de vista económico como ambiental.

En este sentido, aunque la digestión anaerobia es una tecnología madura, son numerosas las investigaciones encaminadas al uso de nuevos sustratos como fuente para la generación de biogás y nuevos métodos para la optimización económica del proceso mediante la mejora de su rendimiento, que haga el proceso global más rentable económicamente.

La biomasa residual no lignocelulósica (residuos urbanos, residuos agroalimentarios, residuos ganaderos, etc.) y lignocelulósica (paja, madera, RAC, etc.) es muy abundante en la Región Iberoamericana y es una excelente fuente potencial de biometano. Cuanto más eficiente en costes sea la recogida de esta biomasa y más rendimiento proporcione el proceso de su digestión biológica, más competitivo en el mercado será el biometano final generado.

Cierta biomasa lignocelulósica como la madera, a pesar de su alto potencial energético, no se emplea en la actualidad como entrada habitual en digestores anaerobios por su baja biodegradabilidad. Otra biomasa lignocelulósica como la paja o el RAC, descartada durante años en procesos anaerobios, empezó a utilizarse como sustrato en digestores ante la demanda de material orgánico por el aumento exponencial de instalaciones de metanización.

La clave en estos casos se encuentra en el tipo de pretratamiento dado a la biomasa residual. Es numerosa la bibliografía existente a este respecto. Entre los pretratamientos más novedosos se encuentran los ultrasonidos o las microondas. Ambos han demostrado su efectividad en la hidrólisis de la biomasa húmeda (residuos agroalimentarios, excretas, fangos de EDAR, etc.). En el caso de la biomasa seca, la cavitación, el extrusionado, la termohidrólisis y la torrefacción húmeda se revelan como tecnologías viables que pueden ampliar el espectro de las fuentes potenciales de materia orgánica para los procesos de digestión anaerobia. En todos los casos se rompen los enlaces inter e intra moleculares del material haciéndolo más accesible a los microorganismos anaerobios y favoreciendo la generación del metano.

El uso del biometano, como combustible de transporte, es una temática en alza. Recientemente, el grupo automovilístico SEAT (España) ha participado en un estudio para utilizar en sus vehículos el biometano generado a partir del tratamiento de aguas residuales, aportando los siguientes resultados:

- Un coche puede recorrer casi 5 millones de kilómetros con el biocombustible obtenido del agua usada por 50.000 habitantes y tratada en una planta de tamaño medio.

- Cada día, una planta de tamaño medio puede tratar unos 10.000 m<sup>3</sup> de agua, generando 1.000 m<sup>3</sup> de biometano, cifra suficiente para que más de 150 vehículos recorran 100 km/día.

- Vehículos alimentados por biometano, una alternativa a las restricciones del tráfico: este biocombustible renovable se puede usar con vehículos de gas natural comprimido (CNG), reduciendo las emisiones en un 80% en comparación con un vehículo de gasolina. Además, los modelos CNG, no están sujetos a las restricciones de tráfico que

recientemente se han puesto en marcha en varias ciudades, como Madrid, Barcelona, París o Londres, para mejorar los episodios de contaminación atmosférica severa.

## El proyecto BIOMETRANS

El proyecto BIOMETRANS busca fomentar la valorización de los residuos de biomasa seca y húmeda que se generan en la Región Iberoamericana, mediante la producción de biometano y fomentar su empleo como biocombustible de transporte (Figura 1).



Figura 1. Región objetivo y participantes en el proyecto BIOMETRANS.

Para ello, se diseñará un proceso tecnológico cercano a mercado, flexible y, por ello, aplicable a cualquiera de los tipos de biomasa existente en cada país de Iberoamérica. Para lograr esto, se plantea:

- Hacer un inventario de las biomásas residuales principales que se generan en Iberoamérica.
- Comparar el funcionamiento de digestores en una y dos fases en el tratamiento de la biomasa residual seca y húmeda.
- Utilizar la biomasa no lignocelulósica (residuos urbanos, residuos agroalimentarios, residuos ganaderos, etc.) directamente o con pretratamiento convencional (según los requerimientos de la corriente), para introducirla en el biodigestor.
- Utilizar la biomasa lignocelulósica (paja, madera, RAC, etc.) para un proceso de torrefacción ( $T \approx 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), donde se generarían biochar.
- Someter la biomasa lignocelulósica a un extrusionado, peletizado y/o cavitación previamente a su entrada al digestor (pretratamientos alternativos a la torrefacción).
- Valorar comparativamente la producción de biometano por la tecnología de PSA, por contactores de membranas e inyección de aire.

Tras la etapa de demostración se seleccionarán las mejores tecnologías para conformar un proceso versátil, técnica y económicamente viable, que sea replicable en cualquier zona de la Región Iberoamericana, independientemente de la biomasa disponible, sin más que adaptar las etapas del proceso. Como resultado final del tratamiento se obtendrán 2 bioproductos:

- Biometano que se empleará como biocombustible en transporte (se harán pruebas en camiones durante el Proyecto).
- Biofertilizante inteligente, que se formará con el digestato del proceso de obtención del biogás, mezclado con parte del biochar que se obtenga del proceso de torrefacción.

También se abordarán todos los temas colaterales que puedan afectar a la producción y comercialización del biometano como combustible de transporte: logística de la biomasa, evaluación del impacto ambiental y económico del proceso integral, modelos de comercialización, creación de una red de trabajo en la temática del Proyecto a través de acciones específicas de networking, etc.

## **Primeros resultados**

### La biomasa en los países Iberoamericanos

Se ha realizado inicialmente un diagnóstico de los recursos relativos a la biomasa disponibles en Iberoamérica. En este sentido, se ha realizado una amplia búsqueda literaria del estado de los recursos de los países Iberoamericanos más representativos. A su vez, se ha desarrollado un estudio preliminar del potencial de producción de biocombustibles según los recursos, características y condiciones de cada país. Esta clasificación ha permitido conocer el grado de interés en el aprovechamiento de cada tipología de biomasa, considerando criterios ambientales y económicos.

Se ha pretendido abordar de manera simple el potencial residual en los países iberoamericanos. Para ello, se ha puesto especial énfasis en las principales fuentes de biomasa disponibles en la actualidad en cada uno de estos países. Así, los residuos de los cultivos agrícolas, de los procesos forestales, los del procesamiento de la madera, desechos de animales (incluidos los residuos humanos), residuos sólidos urbanos, desechos de procesamiento de alimentos, cultivos realizados exclusivamente para su aprovechamiento energético y los bosques de corta rotación, se han tomado como base para el desarrollo de este estudio.

Teniendo en cuenta la idoneidad de las condiciones ambientales, tales como humedad, temperatura y radiación solar, la generación de energía eléctrica y térmica a partir de la biomasa se impone como uno de los recursos renovables con más potencial de utilización en la región intertropical (franja ecuatorial de 23º latitud norte hasta los 23º latitud sur). Asimismo, América Latina tiene buena disponibilidad de tierra y las condiciones climáticas propicias para la producción de cultivos energéticos. Por ende, también tiene el potencial de satisfacer una parte importante de la demanda mundial de biocombustibles.

Cabe destacar, además, que los subproductos o residuos derivados de la actividad agrícola constituyen una de las fuentes de biomasa con mayor potencial de desarrollo para uso energético. Por otra parte, las industrias agroalimentarias (junto con las forestales), también

son fuentes importantes de biomasa residual. Es por ello que se habrá de buscar la potenciación de ambos grupos residuales.

Tras la finalización del estudio se han sacado una serie de conclusiones:

- Se ha comprobado la amplia disponibilidad de biomasa en toda la Región Iberoamericana, en especial en las zonas tropicales, dadas sus ventajosas condiciones climáticas. Destaca la disponibilidad del bagazo de caña en zonas americanas y la paja de cereal y sarmiento de vid en la Península Ibérica.
- El uso de biomasa en los países americanos se limita, generalmente, a su uso en calefacción y cocina, especialmente en zonas rurales y, en zonas industriales, para generar calor y energía eléctrica que se manda a la Red. En muchos casos, la tecnología relativa a la biomasa no está desarrollada todavía o está en fase de investigación.
- Existe una falta de desarrollo de normativas y regulaciones por parte de los gobiernos de toda la Región, lo que acaba generando una barrera para el crecimiento de este tipo de tecnologías.
- En ciertos países hay poca información acerca del potencial biomásico de los mismos e incluso falta de coherencia en los datos ofrecidos.
- Existe la necesidad de realizar análisis actualizados y contrastados de la disponibilidad de la biomasa por país (incluso por agrupación de países en colaboraciones internacionales).

Tras el estudio se han definido cuatro tipos de biomasa residual por su gran interés en la Región, tanto por disponibilidad como por producción. Estas son el sarmiento de vid, la paja de cereal, la caña de azúcar y residuos de café (Figura 2).

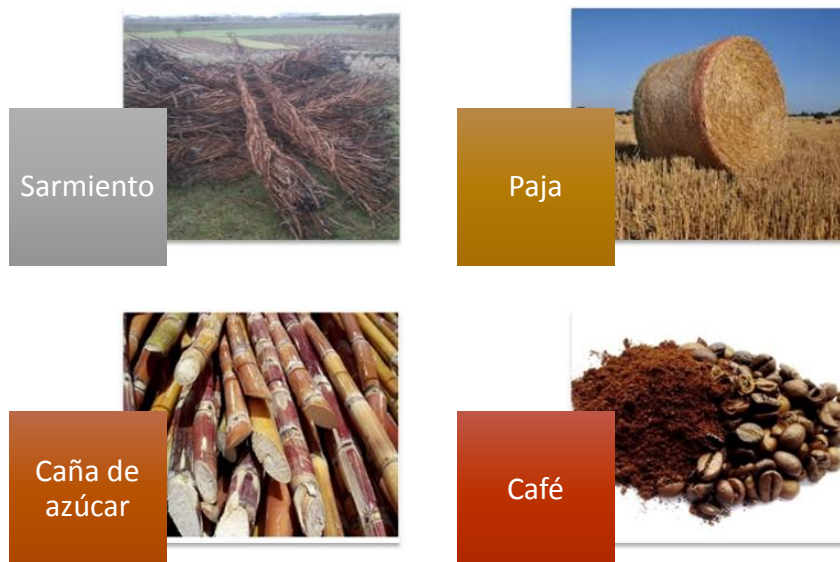


Figura 2. Biomosas residuales seleccionadas.

El informe completo se encuentra disponible en Hidalgo et al (2018a) (ver enlace en el apartado de referencias).

## La bioenergía en los países Iberoamericanos

A continuación, se procedió a realizar un mapa de capacidades tecnológicas y científicas en la Región Iberoamericana para el aprovechamiento de los residuos de biomasa, con detalle de aquellas encaminadas a la obtención de biometano. Para ello, se ha puesto especial énfasis en proyectos que abarquen desde autoabastecimiento hasta generación de biocombustibles para vehículos.

Tras la finalización del estudio se han sacado, como en el caso anterior, una serie de conclusiones:

- Existe gran heterogeneidad en el desarrollo de proyectos relacionados con el uso y la producción de biogás. Hay países con una implantación relativamente amplia y países que únicamente cuenta con la instalación de plantas piloto.
- El estado de la tecnología es relativamente maduro, pero existe una gran falta de implantación y desarrollo de proyectos.
- El uso principal del biogás producido se centra en la producción eléctrica, su uso en biocombustibles para automoción está poco arraigado.
- Destaca la obtención de biogás a partir de los desechos de vertederos o rellenos sanitarios.
- El *upgrading* del biogás es todavía una tecnología poco establecida, por lo que el biometano en la Región Iberoamericana tiene un uso muy escaso.

El informe completo se encuentra disponible en Hidalgo et al (2018b) (ver enlace en el apartado de referencias).

## Implantación de tecnologías para la producción de biometano

En el momento actual se está realizando la selección de las tecnologías innovadoras más adecuadas, en cada caso, para el pretratamiento de la biomasa, su digestión y el refinado del biogás. El objetivo último es comparar diferentes tipos de pretratamiento en función de la naturaleza de la biomasa procesada, seleccionando el más adecuado a cada tipología. También analizar diferentes modalidades de digestión anaerobia (una y dos fases), evaluando la ventajas e inconvenientes que cada modalidad lleva asociada en el caso específico de la digestión de biomasa residual.

Asimismo, los estudios piloto buscarán evaluar comparativamente diferentes tecnologías de refinado de biogás para producir biometano. En todos los casos, se analizará la viabilidad económica y técnica de las opciones estudiadas, teniendo muy en cuenta las características específicas del país dónde se implementen. El resultado que se busca es un proceso versátil y fácilmente transferible de generación de biometano a partir de biomasa residual con diferentes opciones tecnológicas en cada etapa, según sea el tipo de biomasa residual procesada y el país de implementación del proceso.

A partir de las biomásas preseleccionadas: sarmiento, paja, caña de azúcar y restos de café, se ha diseñado un proceso de molido con molinos de martillos y/o de cuchillas en función de la tipología de la biomasa de partida (Figura 3). La etapa de molido es necesaria para el posterior procesado de la biomasa. En función de la tecnología de pretratamiento a emplear, se precisa diferente grado de molienda. Así, mientras que partículas de 2 mm son adecuadas para procesados mediante peletizado o torrefacción, tamaños menores, en torno a 0,25 mm, son imprescindibles para evitar atascos en los procesos de cavitación o extrusión.



Figura 3. Molido de sarmiento y paja de cebada.

El consumo energético de la etapa de molido no es despreciable, por lo que tendrá que ser tenido en cuenta a la hora de seleccionar el proceso óptimo de procesado de biomasa.

Posteriormente al molido, se ha procedido a procesamiento de sarmiento y paja de cereal (cebada) por peletizado, torrefacción y cavitación (quedan pendientes los ensayos de extrusión).

Mediante el peletizado se somete a la biomasa a temperaturas máximas de 90°C y cierta presión. El resultado es un pellet fácilmente transportable, y que se disgrega en agua fácilmente (Figura 4), lo que facilita su introducción en digestores anaerobios.





Figura 4. Biomasa peletizada.

El proceso de cavitación (Figura 5), donde la biomasa se somete a temperaturas máximas de 50°C, genera una emulsión acuosa. Tras 24 h a temperatura ambiente, se observa la aparición de moho en la superficie, lo que hace tener buenas expectativas sobre la mejora en la biodegradabilidad de esa biomasa.



Figura 5. Biomasa sometida a cavitación.

La torrefacción (Figura 6) es un tratamiento más agresivo desde el punto de vista térmico ya que la biomasa es sometida a 220°C.



Figura 6. Biomasa torrefactada.

La microscopía electrónica (Figura 7) revela ligeros cambios en la superficie de las fibras de biomasa tras ser sometidas a procesos de cavitación y peletizado y una disminución en su longitud cuando estas son torrefactadas.

	Sin tratamiento	Torrefacción	Cavitación	Peletizado
Sarmiento				

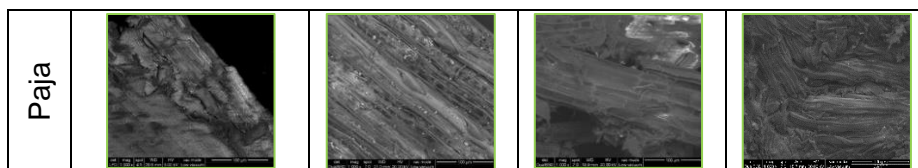


Figura 7. Observación de las muestras de biomasa mediante SEM.

Tras el pretratamiento de las muestras, se procedió a instalar una batería de test de biodegradabilidad, como muestra la Figura 8, para comparar la evolución de las muestras de biomasa pretratadas y sin pretratar, utilizando como inóculo digestato de un reactor de fango de EDAR.



Figura 8. Test de biodegradabilidad de las muestras de biomasa pretratada.

Los resultados preliminares muestran un arranque rápido de los ensayos pero también una gran generación de CO<sub>2</sub> que es arrastrado con el biogás y que disminuye, a la vez que la presencia de metano aumenta, a medida que el test evoluciona.

## Conclusiones

Las primeras actuaciones realizadas en el marco del proyecto BIOMETRANS confirman las hipótesis de partida de que existe una alta disponibilidad de biomasa residual en todos los países iberoamericanos así como capacidad de I+DDT+i propia para aprovechar los residuos de biomasa existentes.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación recibida por CYTED para la realización del proyecto estratégico "Producción de biometano para combustible de transporte a partir de residuos de biomasa" Ref. 918PTE0539.

## Referencias

- Hidalgo et al. (2018a). Diagnóstico de los recursos de biomasa disponibles en Iberoamérica. [http://www.cytcd.org/sites/default/files/tarea\\_1\\_diagnostico\\_de\\_los\\_recursos.pdf](http://www.cytcd.org/sites/default/files/tarea_1_diagnostico_de_los_recursos.pdf) (último acceso 07/10/2018).

- Hidalgo et al. (2018b). Actualización del estado del conocimiento en aprovechamiento de biomasa para producción de biogás en la Región Iberoamericana. [http://www.cytcd.org/sites/default/files/tarea\\_2\\_actualizacion\\_del\\_estado\\_del\\_conocimiento.pdf](http://www.cytcd.org/sites/default/files/tarea_2_actualizacion_del_estado_del_conocimiento.pdf) (último acceso 07/10/2018).