

El aprovechamiento energético de la biomasa

Ismael Delgado Caballero
Francesc Estrany Coda
Ramón Oliver Pujol

La utilización de la materia orgánica como fuente de energía se ejemplifica en este artículo con el caso de una planta de biogás para una explotación ganadera

Impacto de la energía sobre el medio ambiente

Aunque en diferente grado de intensidad, el hombre desde siempre ha cambiado deliberadamente el entorno, para resolver sus necesidades inmediatas y futuras. Sólo el avance en el conocimiento ha generado una toma de conciencia en la sociedad. Este hecho produce una total aceptación de responsabilidad para con el medio ambiente, hasta ahora descuidado y transformado.

En el ámbito energético, cuya interrelación con el medio ambiente posee connotaciones negativas en la opinión pública, se investiga con el propósito de garantizar la respuesta adecuada a las preocupaciones de la sociedad ejemplificadas en problemas tan complejos como el cambio climático, el empobrecimiento de la capa de ozono estratosférico, la acidificación del suelo, la prevención de accidentes o la gestión de residuos.

No obstante, la distribución de los consumos de energía primaria, refleja el escaso

desarrollo y la falta de implantación de tecnologías de producción energética, y por tanto, el impacto ambiental antropogénico en el ámbito energético, todavía hoy es un gran problema, y así lo refleja el siguiente estudio comparativo.

Emisiones en los procesos de combustión

Las emisiones de contaminantes atmosféricos constituyen un tema de interés creciente tanto por sus consecuencias medioambientales, relacionadas con la calidad del aire, como por sus implicaciones tecnológicas, si se considera la combustión el proceso que las genera.

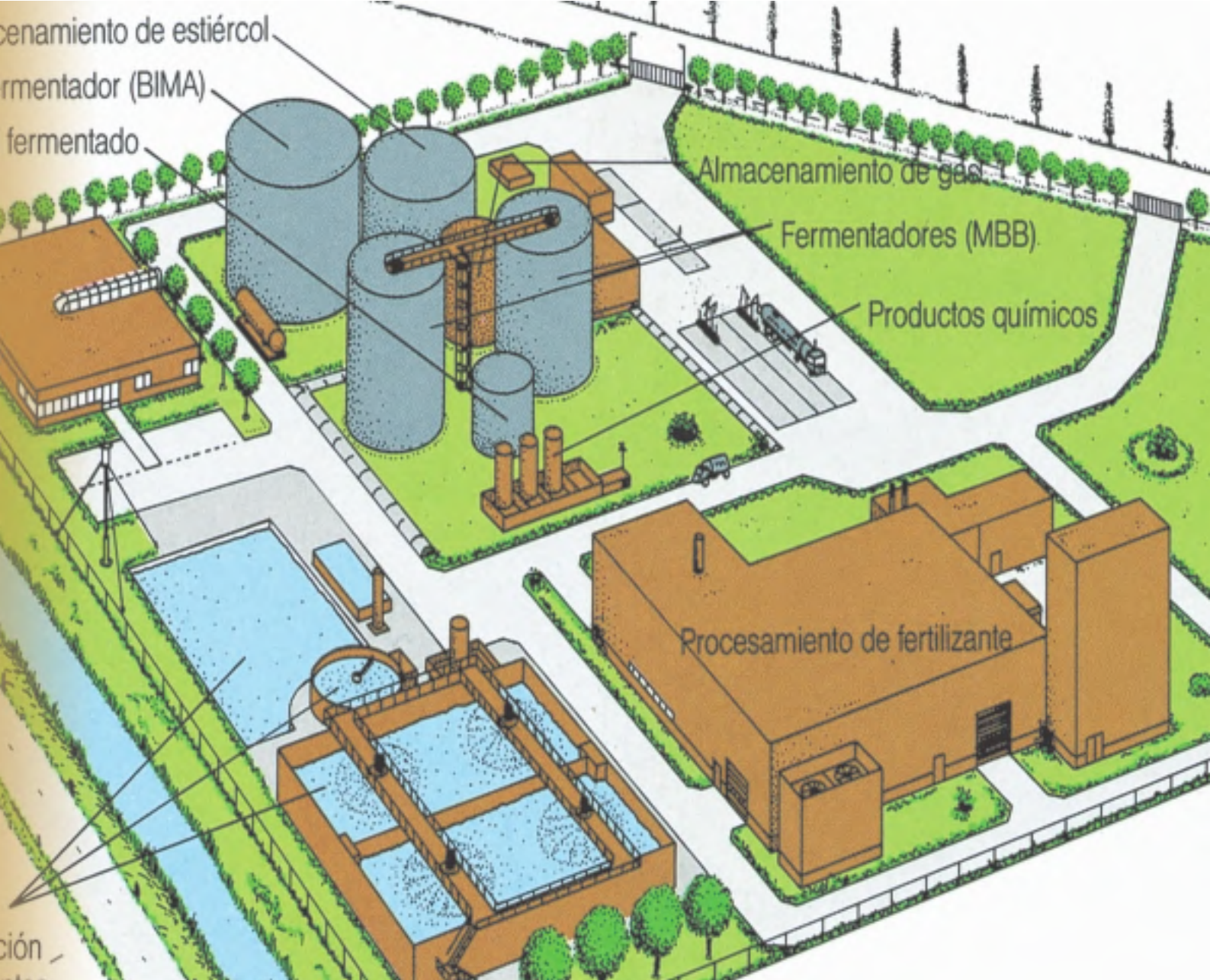
Son los combustibles fósiles la mayor fuente generadora de energía, con una producción mundial en torno al 85%: carbón (24%), petróleo (39%) y gas natural (22%).

Aunque cualquier opción para la generación de electricidad tiene repercusiones sobre el medio ambiente, son los combustibles fósiles los que producen mayor cantidad de emisiones.

Durante las fases de combustión y postcombustión las principales emisiones que se liberan del proceso son: gases y vapores en elevada concentración, materia particulada, compuestos orgánicos y elementos traza.

Los gases están formados principalmente por gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), dióxido de nitrógeno (NO_2), y compuestos halogenados. Gases precursores de la lluvia ácida: dióxido de azufre (SO_2) y los óxidos de nitrógeno (NO_x); además de oxígeno (O_2) y vapor de agua.

La materia particulada en las emisiones está formada fundamentalmente por minerales, inquemados y elementos traza. Una fracción de estas partículas, aproximadamente la cuarta parte, es recogida como ceniza en el propio combustor y el resto es liberada como ceniza volante, que será retenida parcialmente en los sistemas de control de emisiones antes de su salida a chimenea. Aunque los sistemas de filtración convencionales tienen una alta efi-



ciencia (rango de tamaño micras), no son capaces de eliminar de forma significativa las partículas más finas, submicrométricas.

En la combustión del carbón se han encontrado unos once elementos traza, de los considerados contaminantes: berilio (Be), cromo (Cr), manganeso (Mn), cobalto (Co), níquel (Ni), arsénico (As), selenio (Se), cadmio (Cd), antimonio (Sb), mercurio (Hg), y plomo (Pb).

Las emisiones procedentes de los residuos sólidos urbanos (RSU), utilizados como recurso energético en procesos de incineración o co-combustión generan, junto a la materia particulada, elementos traza especialmente tóxicos como el mercurio (Hg) y compuestos orgánicos persistentes, con riesgo para la salud, como las dioxinas.

Los compuestos orgánicos se pueden encontrar en fase gas, habitualmente como compuestos orgánicos volátiles (VOC) o adsorbidos sobre la superficie de las partículas, como hidrocarburos aromáticos policíclicos.

En la combustión se generan también (cuando se dan las condiciones adecuadas) compuestos orgánicos traza: policlorodibenzo-p-dioxinas (PCDD) y policlorodibenzofuranos (PCDF) más conocidos como dioxinas y furanos.

En general cualquier emisión de combustión va a depender en primer lugar de las propiedades del combustible, pero también de manera importante la tecnología de combustión utilizada (calderas de combustión de carbón pulverizado, combustores en lecho fluidizado, incineradores para combustibles sólidos y quemadores o motores de combustión interna para combustibles líquidos).

Problemática de las centrales nucleares

La generación de electricidad con plantas de energía nuclear provoca la emisión a la atmósfera de sustancias radioactivas. Además, plantea serios problemas en la gestión de residuos radioactivos de alta, media y baja actividad.

En el caso de considerar impactos relacionados con el desmantelamiento, las centrales nucleares resultan penalizadas, dadas las dificultades añadidas en el caso de grandes infraestructuras y los problemas relacionados con la recuperación de suelos contaminados. A todo esto, cabe añadir el agravio que supone el carácter radioactivo de parte de los residuos y de las instalaciones que entraron en contacto directo o indirecto con el combustible y sus radiaciones.

Los materiales estructurales sufren un envejecimiento debido a la exposición continua a radiación neutrónica. Se producen cambios en sus propiedades físicas y mecánicas, potenciado por las condiciones de operación: radiación, altas temperaturas, cargas cíclicas a alta presión, y un ambiente corrosivo. Desde el punto de vista de la seguridad, el envejecimiento de los materiales influye sobre la fiabilidad de las plantas nucleares en operación, pudiendo llegar a comprometer su seguridad.

Ventajas de las energías renovables

En este contexto, las denominadas tecnologías renovables representan en general, y por su propia naturaleza, una opción ventajosa. Además, el carácter de las fuentes primarias renovables, en general dispersas e inagotables, hace que presenten menores necesidades de transformación y transporte y ello explica también sus menores efectos globales.

Si es cierto que tecnológicamente falta un mayor desarrollo que disminuya algunos de los posibles impactos actuales, como podrían ser los impactos paisajísticos en la energía eólica, los materiales utilizados para la captación de energía solar, la optimización rigurosa en los procesos de combustión de biomasa, etc., no obstante, se debe tener en cuenta de modo global y sin dejar ningún tipo de duda al respecto, hechos favorables como son la reducción de emisiones de CO₂, reducción del efecto invernadero, así como la reducción de emisiones a la atmósfera de compuestos que provocan lluvias ácidas, logrando disminuir notablemente la generación de residuos nocivos tanto para

el hombre como para el medio ambiente, reducir la emisión de compuestos que acidifican los suelos y las aguas y, en general, paliar los impactos medioambientales que conlleva la generación de energía.

Biomasa

El término biomasa hace referencia a la materia orgánica que se produce en las plantas verdes a través del proceso de fotosíntesis, así como a la originada en los procesos de transformación de la primera, considerando tanto los que se producen de forma natural, como de forma artificial. La formación o transformación de la materia orgánica ha de ser reciente, lo que excluye del término a los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), cuya formación tuvo lugar hace millones de años.

Origen

En la fotosíntesis, las plantas verdes transforman productos minerales, como son el dióxido de carbono y el agua, en sustancias orgánicas y oxígeno por acción de la radiación solar. La materia orgánica

obtenida tiene un alto valor energético asociado a su estructura interna y se denomina biomasa vegetal. En dicho proceso, la energía contenida en la radiación solar se transforma en energía química, siendo el esquema básico y general de la reacción el que se indica a continuación:



La clorofila presente en las plantas verdes es la sustancia responsable de la absorción de luz que se necesita en el proceso de la fotosíntesis. Hay que señalar que la transformación energética asociada a la fotosíntesis tiene un rendimiento bajo.

En primer lugar, del conjunto de longitudes de onda del espectro solar, sólo la radiación solar comprendida en el rango de onda de 0,4 a 0,7 µm es válida para el proceso, lo cual supone una cierta restricción. En segundo lugar, no toda la radiación solar que incide sobre la planta es absorbida por ésta, ya que aproximadamente el 30% es reflejada. Si además, se considera que la propia fotosíntesis tiene un rendimiento próximo al 30%, y que se producen pérdidas de energía como consecuencia de otros procesos que tienen lugar en las plantas, se obtiene que el rendimiento en el proceso de generación de biomasa a partir de la energía solar es muy bajo, entre el 3 y el 5%.

Como fuente de energía, la biomasa se puede utilizar directamente a través de un proceso de combustión, o bien se puede transformar en otras sustancias que a su vez se utilicen como combustibles. La realidad es que la biomasa, comparada con los combustibles fósiles, tiene una baja densidad energética, un alto contenido en humedad que dificulta el proceso de combustión, y no se puede almacenar durante mucho tiempo porque se deteriora. Sin embargo, su potencial energético es lo suficientemente elevado como para justificar el estudio y desarrollo de tecnologías que permiten un uso eficiente de la misma como fuente de energía.

Aprovechamiento energético de la biomasa

El modo más directo para extraer y aprovechar la energía contenida en la biomasa es por medio de un proceso de combustión, de tal modo que su energía química se transforme en energía térmica. Este modo de proceder es adecuado siempre que la biomasa tenga buenas propiedades como combustible. Sin embargo, no siempre se puede hacer un uso directo de la misma. En general, se puede decir que la biomasa no presenta

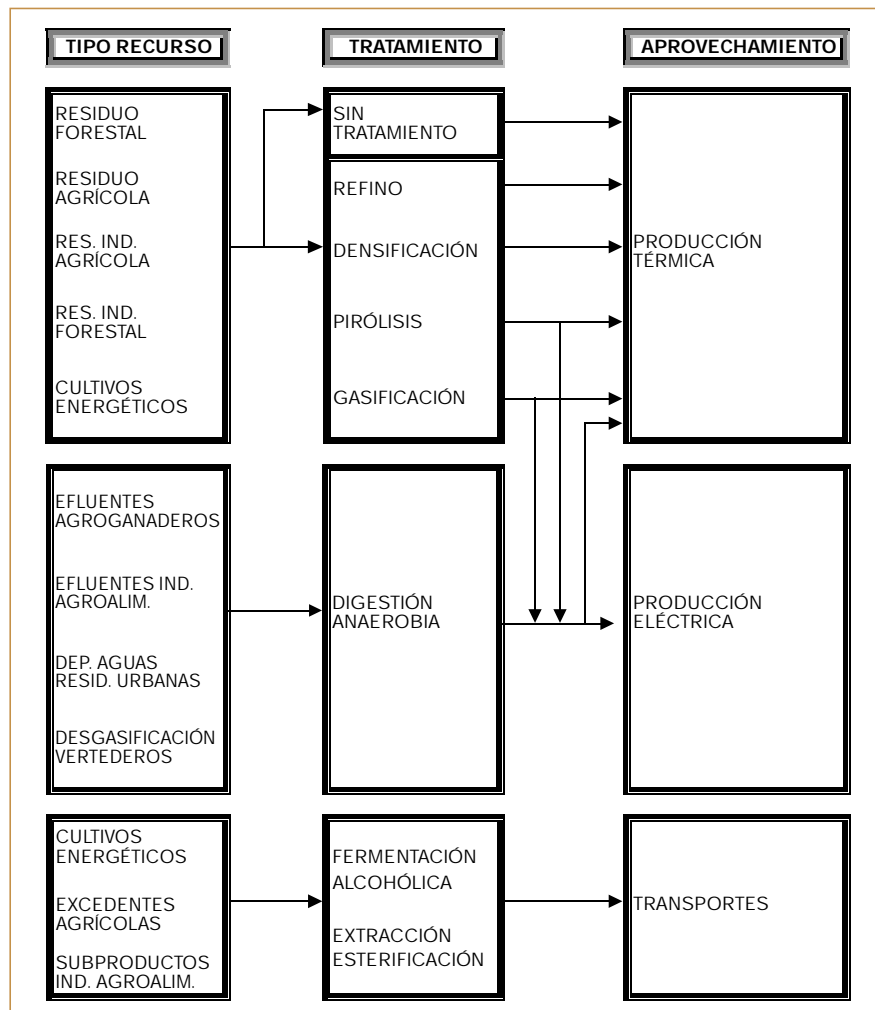


Figura 1.

COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS

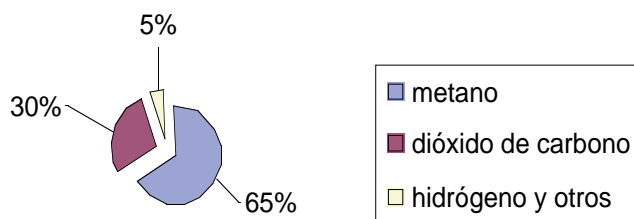


Figura 2.

unas buenas características para su uso directo, ya que tiene una densidad energética muy baja y un alto grado de humedad. Esto hace que, en numerosas ocasiones, sea necesario someter a la biomasa a algún tipo de tratamiento que permita obtener sustancias con mejores características como combustible.

Los diferentes tipos de tratamientos que se suelen utilizar se pueden clasificar en tres grupos: procesos de extracción, procesos termoquímicos y procesos bioquímicos.

En la *figura 1* se refleja el uso energético que se da a la biomasa según sea su procedencia mediante diferentes tipos de tratamientos.

Digestión anaerobia

Este proceso bioquímico consiste en la descomposición de la materia orgánica presente en la biomasa. Se obtiene una mezcla de productos gaseosos que se denomina biogás, formada principalmente por metano y dióxido de carbono, junto con un residuo semisólido, tipo lodo o fango, que tendrá una mayor concentración en nutrientes que la biomasa inicial. En la *figura 2* se recoge la composición habitual de biogás.

La digestión anaerobia, como método de tratamiento de residuos, permite reducir la cantidad de materia orgánica contaminante y, al mismo tiempo, producir energía. El que uno de estos dos objetivos predomine sobre el otro depende de las necesidades de descontaminación del medio y/o la naturaleza y origen del residuo.

Este tipo de proceso se está utilizando desde hace muchos años con el objetivo de someter a los residuos a un proceso de estabilización, sin que se prestara atención al tipo de producto obtenido. Sin embargo, en los últimos años, la situación ha cambiado. Se ha estudiado en profundidad el proceso con el objetivo simultáneo de conseguir estabilizar el residuo y obtener unos productos con un alto contenido energético, intentando

que la obtención de metano a partir de la biomasa resulte competitiva. El potencial calorífico superior de 1 m³ de biogás es de 23.000 KJ aproximadamente.

El tipo de biomasa que es tratada en un proceso de digestión anaerobia suele ser biomasa residual procedente de ganaderías y granjas, sobre todo estiércol de los animales. En general, es biomasa con un alto grado de humedad, y donde la materia orgánica se encuentra presente en azúcares, celulosa, hemicelulosa, proteínas y lignina. Hay que señalar, sin embargo, que no todas las sustancias orgánicas mencionadas presentan la misma predisposición a la descomposición bioquímica. Las más aptas a este tipo de proceso, y en orden decreciente, son los monosacáridos, hemicelulosa, celulosa, proteínas y lignina, verificándose que la misma sustancia en diferentes sustratos, presenta comportamientos diferentes frente a la digestión anaeróbica, y el resultado es que la fracción transformada varía.

Etapas de la digestión anaerobia

La digestión o fermentación anaerobia de compuestos orgánicos es un proceso complicado en el que se producen un gran número de reacciones químicas y donde se presentan una gran variedad de bacterias, no siendo fácil conocer la secuencia exacta en la que se suceden todos los pasos del proceso. Sin embargo, sí se sabe que la fermentación anaerobia se desarrolla en tres etapas (*figura 3*):

Primera etapa: hidrólisis

En esta etapa, las bacterias, principalmente celulolíticas, actúan sobre la materia orgánica transformándola en monómeros, de fórmula molecular más simple y solubles.

Segunda etapa: acetogénica

Los monómeros obtenidos son atacados por otro tipo de bacterias produciendo ácidos orgánicos de cadena corta, principalmente el ácido acético, y dióxido de carbono e hidrógeno (también algunos

alcoholes y aldehídos). Esto se produce en la fosa de homogenización.

Tercera etapa: metanogénica

Las sustancias producidas en etapas anteriores son atacadas por las bacterias denominadas metanogénicas, que necesitan encontrarse en una atmósfera con ausencia de oxígeno. Éstas producen la formación de metano y dióxido de carbono.

Las bacterias metanogénicas son organismos claves en el digestor, su desarrollo es muy lento y son extraordinariamente sensibles a las variaciones que se producen en el medio que las alberga. Está totalmente comprobado que la digestión de los lodos se realiza a cualquier temperatura; sin embargo, el tiempo que se tarda en completar la digestión es variable y está en relación con ella. En este sentido, existen dos grandes clases de bacterias metanogénicas, cuyas temperaturas de desarrollo son muy diferentes:

- Las *bacterias mesófilas*, cuya temperatura óptima está entre 35 y 45 °C.
- Las *bacterias termófilas*, para las que la temperatura oscila de 50 a 60 °C.

Se puede obtener metano también a partir del hidrógeno y el dióxido de carbono producidos en la segunda etapa, pero en cualquier caso, hay que señalar que la producción de metano está principalmente controlada por las bacterias metanogénicas.

Además de la temperatura, hay otras condiciones en las que se realiza el proceso que tienen una gran influencia sobre el desarrollo del mismo. Las variables más influyentes son la acidez (pH), el contenido en sólidos, el tipo de sustancias y el tiempo de retención.

El pH tiene que estar muy controlado, debe mantenerse entre 6,5 y 8. Fuera de este rango las bacterias no se desarrollan. El rango de trabajo más adecuado es de 6,6 a 7,6. El pH influye sobre la cantidad de biogás producida y sobre la proporción de metano.

El contenido en sólidos debe ser bajo, entre el 10% y el 12%, por lo que el grado de humedad será alto. Las bacterias necesitan un medio fluido para su desarrollo, pero con una concentración adecuada de nutrientes. Es necesario que, aproximadamente, el 10% del total de biomasa seca esté constituida por nitrógeno, y que un 2% sea fósforo. Además, deberá haber potasio y sales minerales, y no deberán encontrarse sustancias tóxicas como metales pesados o pesticidas, ya que impiden el buen desarrollo del proceso.

El tiempo de retención dependerá de las características de la biomasa que se vaya a tratar, oscilando entre 3 y 30 días.

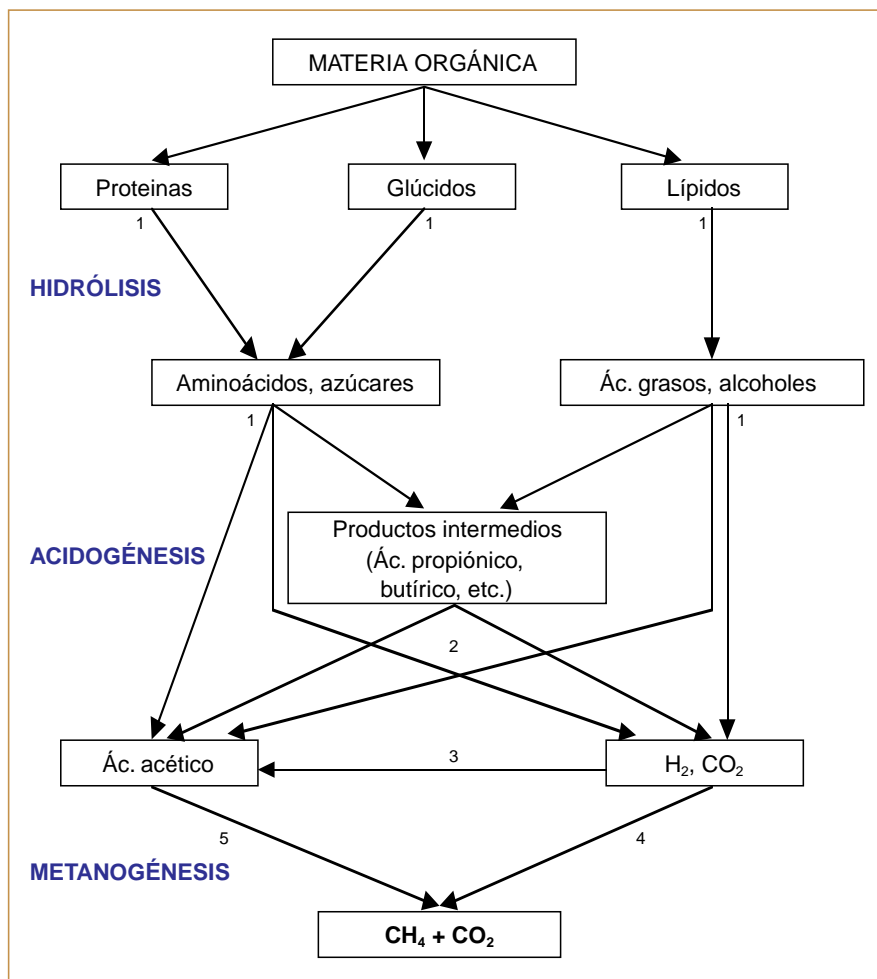


Figura 3. Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones bacterianas: 1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas; 2) bacterias acetogénicas; 3) bacterias homoacetogénicas; 4) bacterias metanogénicas hidrogenófilas; 5) bacterias metanogénicas acetoclásticas.

Planta de biogás para una explotación ganadera

Actualmente, las grandes explotaciones ganaderas tienen un volumen de estiércol y camas de ganado excesivo para verter en su propia superficie sin causar daños medioambientales. Por este motivo, los residuos generados por sus vacas son distribuidos a diferentes agricultores, con el único beneficio (sin dejar de ser importante) de la eliminación de la carga contaminante.

El proceso, además de garantizar la disminución de carga contaminante y obtención de un fertilizante orgánico de mejores propiedades para los suelos, propone la obtención de energía térmica y eléctrica con el consiguiente ahorro energético y beneficio económico, objetivo final de cualquier empresa.

En primer lugar, se recogerán los estiércoles de los dos establos principales, que albergan a más del 80% del censo vacuno.

Este estiércol se seguirá recogiendo con el sistema actual, el cual se basa en pasar continuamente por el suelo del

establo un ángulo metálico que se arrastra mecánicamente a través de un raíl con forma de cremallera.

Se conducirá por canalización inclinada (por gravedad) prevista de una malla en la entrada para tamizar con el fin de retener los sólidos mal digeridos por las vacas o pajas que se puedan colar. Estos residuos no son metanizables, por lo que no afecta al rendimiento energético.

Se almacenarán en una fosa de homogenización y trituración previa. Funcionará intermitentemente el sistema de homogenización y trituración, y de esta fosa se alimentará el digestor anaeróbico por tubería de acero inoxidable y amplio diámetro para evitar atascos.

En el digestor se producirá el biogás debido a la transformación por metanogénesis que realizan unas bacterias específicas. También se obtendrá un efluente con una carga de nitrógeno menor al contenido inicial, y con una composición adecuada para su uso como fertilizante o abono.

El biogás se extraerá mediante bomba,

y será conducido por tubería de acero inoxidable a un gasómetro, intercalando antes unos filtros para eliminar humedad y absorber el ácido sulfhídrico.

El biogás almacenado será conducido hasta el equipo de cogeneración que consta de motor térmico y generador. También estará previsto un sistema de intercambiadores de calor para refrigerar el motor y calentar el digestor.

La electricidad se aprovechará en la granja, en la planta de transformación de biomasa, en el resto de las instalaciones y se cederá a la compañía suministradora.

Precio y primas por la venta a la red

Existen dos modalidades de facturación:

- Precio fijo de la venta de electricidad generada por biogás: 0,060582 €/ KWh.
- Precio variable:

1. Precio por KWh variable según libre mercado.
2. Complemento de eficiencia energética.
3. Prima para biogás: 0,025136 €/ KWh.

Bibliografía

- Jarabo Friedrich. F. *La energía de la biomasa*, S.a.p.t. publicaciones técnicas, s.l. (2ª ed.). 1999.
- Tecnologías energéticas e impacto ambiental*, Ciemat, Ministerio de Ciencia y Tecnología., Mc Graw-Hill Profesional. 2001.
- A. Colmenar. M. Castro. *Biblioteca multimedia de las energías renovables*, Progensa (1ª ed. diciembre 1998).
- Juan B. Lobera Lössel. *Tratamiento integral de purines*, Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Consejería de M.A. Agric. y Agua. (Ed. 1996).

Internet

- www.idae.es IDAE: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía.
- www.icaen.es ICAEN: Institut Català de l'Energia.
- www.ico.es ICO: Instituto de Crédito Oficial.
- www.ciemat.es Ceder-Ciemat: Centro de Desarrollo de Energías Renovables.

Nota

Precios regulados por la legislación vigente (Real Decreto 1436/2002). Datos obtenidos del B.O.E. martes 31/12/2002 nº 313, Anexo 4 tabla de precios para el grupo correspondiente.

AUTORES

Ismael Delgado Caballero
Ingeniero técnico industrial en Química Industrial.

Francesc Estrany Coda
Profesor titular de la Unidad de Química Industrial de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona.

Ramón Oliver Pujol
Catedrático de la Unidad de Química Industrial de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona.