



2020 - 2021

Biodigestores

Generación de biogás

*como respuesta a la problemática energética
aplicable a poblaciones con vulneración ambiental*



UBA
1821 Universidad
de Buenos Aires

.UBAveterinaria 
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS

.UBAINVESTIGACIÓN
Secretaría de Ciencia y Técnica



2020 - 2021

Biodigestores

*Generación de biogás
como respuesta a la problemática energética
aplicable a poblaciones con vulneración ambiental*



Generación de biogás como respuesta
a la problemática energética
aplicable a poblaciones con vulneración ambiental.
Incorporación de nuevas tecnologías.



2020 - 2021

El Proyecto

Generación de biogás como respuesta a la problemática energética aplicables a poblaciones con vulneración ambiental. Incorporación de nuevas tecnologías.

Los Participantes

Esp. Adriana Noacco
Mag. Daniela Malcervelli
Dra. Sandra Sánchez
Arq. Verónica Hachman
Dra. Margarita Robertazzi
Mag. Claudia Guebel
Mag. Susana Ghirardosi
Lic. Margarita Lozano
Vet. Federico Vázquez Millán
Dra. Fernanda Vázquez
Mag. Claudia Mazzeo
Arq. Patricia Salvatierra
Vet. María del Carmen Mujica

Estudiantes:

Cecilia Canoura
Pablo Pulido
Micaela Hierro
Carolina Mentaberry

Colaboradores:

Nancy Britos
Laurentino Días



UBA
1821 Universidad
de Buenos Aires

.UBAveterinaria 
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS



2020 - 2021

Biodigestores

*Generación de biogás
como respuesta a la problemática energética
aplicable a poblaciones con vulneración ambiental*



.UBA INVESTIGACIÓN

Secretaría de Ciencia y Técnica

 UBA Universidad de Buenos Aires	 UBA Universidad de Buenos Aires	 UBA Universidad de Buenos Aires	 UBA Universidad de Buenos Aires	 UBA Universidad de Buenos Aires
PIUBACC PROGRAMA INTERDISCIPLINARIO DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO	PIUBAD PROGRAMA INTERDISCIPLINARIO DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES SOBRE DESARROLLO	PIUBAES Programa Interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires sobre Energías Sustentables	PIUBAT Programa Interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires sobre Transporte	PIUBAMAS PROGRAMA INTERDISCIPLINARIO DE LA UBA SOBRE IMAGINACIONES SOCIALES
Secretaría de Ciencia y Técnica piubas@rec.uba.ar	Secretaría de Ciencia y Técnica piubas@rec.uba.ar	Secretaría de Ciencia y Técnica piubas@rec.uba.ar	Secretaría de Ciencia y Técnica piubas@rec.uba.ar	Secretaría de Ciencia y Técnica piubas@rec.uba.ar

Generación de biogás como respuesta
a la problemática energética
aplicable a poblaciones con vulneración ambiental.
Incorporación de nuevas tecnologías.



2020 - 2021

Los Programas Interdisciplinarios de la Universidad de Buenos Aires (PIUBAS) fueron creados en 2007 por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires (SECYT UBA) con el objetivo de promover actividades específicas orientadas a satisfacer demandas concretas de la sociedad, las cuales se fueron evidenciando en los últimos años como eminentemente interdisciplinarios.

En ese sentido, se plantea un abordaje flexible e interdisciplinario en donde se articulan las tradicionales funciones de investigación, formación de recursos humanos, extensión y transferencia, con el fin de fortalecer el rol social de la Universidad. Los grandes temas globales tienen esta naturaleza y no son resolubles desde una mirada lineal, estos son: la energía, la salud, el ambiente, las grandes ciudades, entre otras.

La problemática de Energías Sustentables es un área temática que cada año cobra mayor importancia dado el impacto económico, social, político, ecológico y sanitario que acarrea. Constituye así un problema estratégico que la Universidad de Buenos Aires se encuentra en condiciones de abordar, discutir y desarrollar. Es fundamental que la Universidad pública discuta, proponga y se expida sobre temas que atañen al futuro de nuestra sociedad, que elabore recomendaciones, de manera racional e interdisciplinar, que puedan ser consideradas en cualquier plan o proyecto de desarrollo productivo y contribuir de esta manera, a una visión del futuro energético de nuestro país.

Dr. Anibal Cofone

Secretario de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires



Contenido

Módulo 1

Introducción a la biomasa	7
Qué es la energía	7
Biomasa	9
Clasificación de la biomasa, aplicable a la bioeconomía	12
Producción de energías	13
Método de transformación de la biomasa en energía	13
Otros procesos	14
Bioenergías	15
Impactos negativos potenciales	16
Biogás y bioeconomía	16
Perspectivas económicas de las bioenergías	17
Costos y aportes de la bioenergías a la matriz energética argentina	18

Módulo 2

Marco legal	19
Bioeconomía, energías de baja emisión, biodigestores	19
Estructura productiva	22

Módulo 3

Gestión de residuos agropecuarios	24
Residuos en las actividades agroalimentarias	24
Tratamiento de residuos orgánicos	25

Módulo 4

Biofertilizantes	27
------------------	----

Módulo 5

Metano	32
--------	----

Módulo 6

Biodigestor	35
Ventajas de la implementación de biodigestores familiares	35
Construcción de biodigestor	42

Bibliografía



Introducción a la biomasa

¿Qué es la energía?

La energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo: por ejemplo trabajo mecánico, emisión de luz o generación de calor.

Las energías se clasifican básicamente en:

PRIMARIAS	SECUNDARIAS
Se extraen de recursos naturales de manera directa, mediante prospección, exploración recolección: combustibles crudos, la energía solar, nuclear, la eólica, la geotérmica, leña	Resultantes de la transformación (centros de transformación que las adecúan para su uso) de las energías primarias en otro tipo de energía. Algunos ejemplos de energías secundarias son el gasoil, electricidad, kerosene, gas de refinería, licuado, biogás, biodiesel bioetanol, etc.

Primarias: energías en estado propio que se extraen de recursos naturales de manera directa, mediante prospección, exploración o recolección, entre otros, y se pueden consumir directamente (por ejemplo, la leña) o media transformación para su consumo.

Otros ejemplos de energías primarias son los combustibles crudos, la energía solar, la nuclear, la eólica, la geotérmica y otras formas de energía que constituyen una entrada al sistema. Los subproductos de la leña, como el bagazo y los residuos agropecuarios o urbanos, conforman también la lista de energías primarias.

Si no es utilizable directamente, debe ser transformada en una fuente de energía secundaria.

Secundarias: son aquellas que resultan de la transformación (mediante centros de transformación, que las adecúan para su uso) de las energías primarias en otro tipo de energía. Algunos ejemplos de energías secundarias son: el gasoil, la electricidad, el kerosene, el gas de refinería, el gas licuado, el biogás, el biodiesel, el bioetanol.

Otra forma de clasificar las energías es en renovables (aquellas fuentes que no se agotan en el transcurso de una vida, o que pueden ser regeneradas casi infinitamente) y no renovables (fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en una cantidad limitada y, una vez consumidas en su totalidad, no pueden sustituirse, como, por ejemplo, los combustibles fósiles: petróleo, carbón y gas natural).



Las energías renovables abarcan varias categorías de tecnologías capaces de generar electricidad, energías térmicas y mecánicas, aplicables y adaptables tanto a usos urbanos como rurales. Permiten el desarrollo de regímenes descentralizados como implantados para grandes redes de suministro.

Las sociedades requieren de servicios energéticos para cubrir sus necesidades y lograr un desarrollo. Pero el consumo energético se ha centrado en el uso de combustibles de origen fósil, situación que ha llevado a un rápido aumento de las emisiones de CO₂.

Ya para 2010 se registró un aumento del 39 % de las emisiones respecto a la era preindustrial.

Desde el sector energético, hay diversas acciones para dar respuesta al cambio climático y lograr entonces una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Entre ellas:

- *Eficiencia energética y conservación (reducir el consumo energético).*
- *Reemplazo de combustibles fósiles.*
- *Empleo de energías renovables*
- *Uso de Energía nuclear*
- *Captura y almacenamiento del CO₂.*

Frente a esta situación, el uso de energías que reemplacen a las de origen fósil se presenta como una oportunidad de mitigación del efecto del cambio climático.

Las energías renovables acompañan el desarrollo social y económico de las regiones donde se producen, favorecen el acceso a energía y a la seguridad energética, junto con la reducción de efectos negativos de otras energías sobre el ambiente y la salud.

En resumen, las tecnologías renovables contribuyen a:

Mitigar el cambio climático.

Desarrollo social y económico.

Favorecer el acceso y seguridad del suministro de energías.

Reducir los efectos negativos sobre el ambiente y la salud.

Las proyecciones sobre la generación de energías renovables indican un aumento auspicioso –respecto a los escenarios de mitigación más ambiciosos–, de lograr ese crecimiento en forma sostenida en el tiempo.



Sin embargo, los esfuerzos para la implantación de las tecnologías y sectores de energía limpia en todo el mundo aún no logran avanzar lo suficiente como para cumplir con el objetivo de frenar el aumento de temperatura establecido en el acuerdo climático de París 2015, según los análisis más actuales.

De las 46 categorías de energía limpia que la Agencia Internacional de Energía considera cruciales para minimizar los impactos del cambio climático, solo seis están "encaminadas" para cumplir con el objetivo de evitar que las temperaturas promedio globales aumenten 2°C o más.

Las seis tecnologías consideradas en el camino son la energía solar fotovoltaica, la energía bioenergética, los vehículos eléctricos, el ferrocarril, la iluminación led, los centros de datos y las redes de transmisión.

Respecto a las energías renovables, las bioenergías se proyectan como un desarrollo cercano, asequible para diferentes niveles de economías y estructuras sociales.

Obtenida de diferentes fuentes de biomasa, pueden ser utilizadas para producir, en forma directa, electricidad, combustibles gaseosos, líquidos o sólidos.

De orígenes diversos respecto al tipo de la biomasa utilizable, las bioenergías tienen aplicaciones tanto en contextos centralizados como descentralizados.

Desde ese concepto, los biodigestores se presentan como alternativas válidas para la generación de energías (gas) mediante la gestión de residuos de tipo agropecuario o familiares orgánicos, en el marco de los principios de bioeconomía, generando además de energía, un subproducto biofertilizante, y una gestión de residuos acorde a los objetivos del desarrollo sostenible.

Comprender el marco de la bioeconomía, requiere detenerse en entender básicamente qué es la biomasa y cuáles son las oportunidades que ofrece para el desarrollo económico basado en la realización de prácticas para la valorización de la biomasa.

Biomasa

Según la RAE, biomasa es la materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área de volumen (1. f. Biol.)

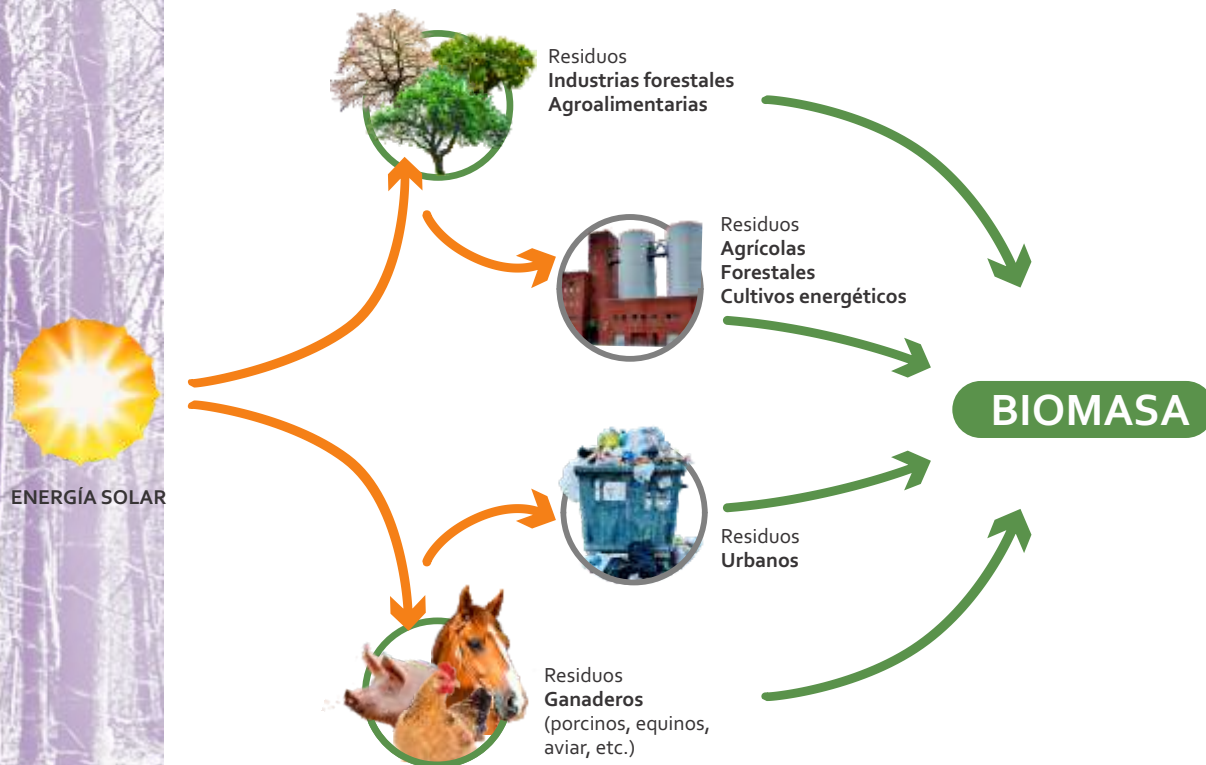
Según el Diccionario Larousse, la biomasa es **la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía**. (Gran Diccionario de la Lengua Española © 2016 Larousse Editorial, S.L.)

Sintetizando:



La biomasa es la cantidad total de materia viva presente en una comunidad ecológica, originada por el uso de la fotosíntesis mediante la energía solar (materia orgánica susceptible de ser utilizada como fuente de energía).

Su uso fue desplazado por los combustibles de origen fósil desde el crecimiento económico generado por la revolución industrial.



Desde la biomasa, surge el concepto de la bioeconomía como la producción y uso intensivo en conocimientos de recursos, procesos y principios biológicos para la provisión sostenible de bienes y servicios.

La bioeconomía se posiciona así, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), no como un sector de la economía, sino como una estrategia de producción. Desde las actividades agropecuarias, permite el planteo de desarrollo no solo como generador de alimentos sino también, como actividades integradas a los procesos industriales y de servicios.

El punto de partida es la producción sustentable de biomasa vegetal, animal y microbiana aprovechando la fotosíntesis para producir energía, además de alimentos, y una amplia gama de biomateriales amigables con el ambiente como una opción estratégica para alinear los objetivos de crecimiento económico con los ambientales y las restricciones de recursos.

Esta forma de desarrollo de la economía, constituye una estrategia de producción y organización donde el desarrollo traspasa toda la economía, ampliando



a una gran variedad de sectores y partes de sectores, nuevos, modernos y tradicionales (agricultura familiar, agrosistemas de pueblos originarios, entre otros), de diversas escalas de producción, que comparten el concepto del uso de los procesos.

El concepto más simplificado, es que la bioeconomía se basa en el conocimiento y desarrollo de tecnologías y el uso de la energía de procesos biológicos.

Los conceptos de bioeconomía son aplicables desde los recursos que la organización cuenta de manera tal que permita:

- *Optimizar los procesos energéticos.*
- *Asegurar la mejora continua.*
- *Visualizar que es lo que no estamos utilizando o aprovechando desde nuestro sistema productivo.*
- *Utilizar nuevas tecnologías o modernizar el uso de las ya aplicadas.*

Si la organización es un sistema productivo agroalimentario, el planteo desde la bioeconomía permite el desarrollo de bioenergías (dendroenergías, biogás, biocombustible), biomateriales (insumos industriales de primera o segunda generación, a partir de procesos biológicos como colágeno, quitina), biomateriales y bioservicios (servicios eco sistémicos).

Un concepto aplicable a la dimensión de la bioeconomía, es el uso en cascada de biomasa. Ocurre cuando la biomasa se utiliza en la producción de lo que se define como un bioproducto (aquel derivado / producido esencialmente con recursos / procesos biológicos), el que es utilizado por lo menos una vez más como insumo para la producción de bienes o para la obtención de energía.

En ese marco, se define como cascada de un paso, cuando el producto es utilizado para la producción de energía. En cambio, se lo denomina cascada de pasos múltiples cuando el producto inicial es utilizado por lo menos una vez como insumo de otro producto antes de ser destinado a usos energéticos.

Los biodigestores, presentan esta dimensión al generar gas y biofertilizante.

La bioeconomía, plantea un nuevo paradigma en los desarrollos de la economía y la necesidad de una profunda transformación en las relaciones intersectoriales existentes.

- *Permite potenciar el desarrollo de cadenas de valor, junto con ingreso de nuevos agentes económicos.*
- *Estimula el estudio y la innovación de dentro de las cadenas, más allá de lo agropecuario, promoviendo el desarrollo territorial, generación de nuevos negocios, en áreas donde la biomasa puede generar desarrollos, promueve la sustentabilidad ambiental, económica y energética.*



Clasificación de la biomasa, aplicable a la bioeconomía

La biomasa se puede clasificar en tres grandes grupos:

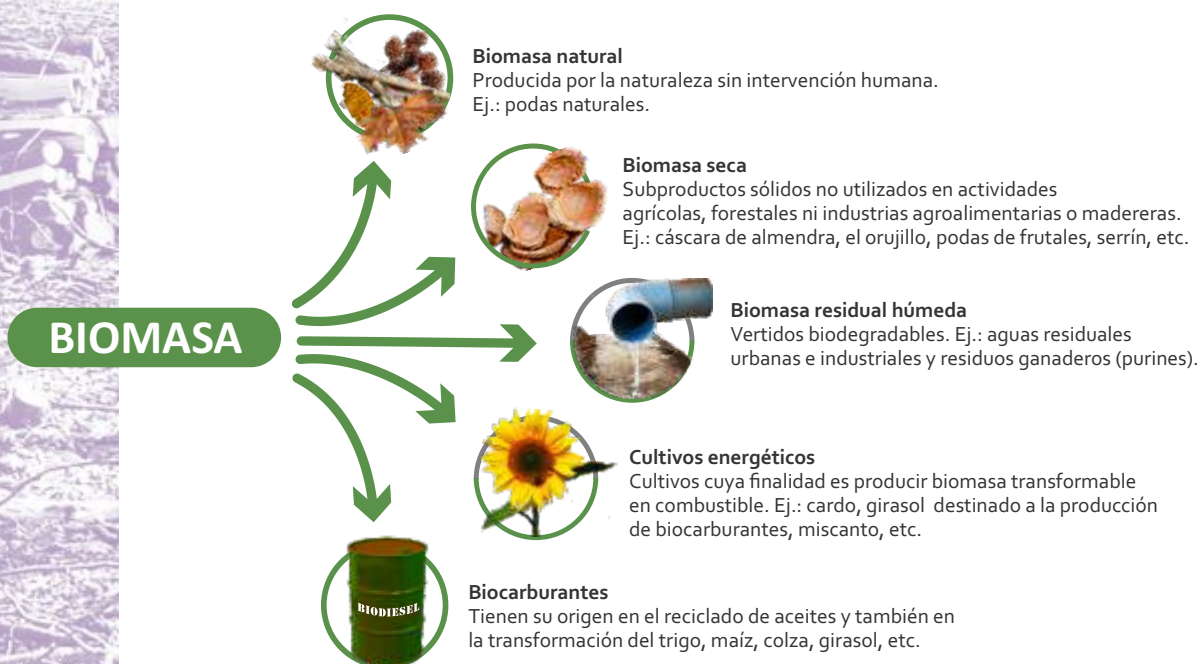
- **Biomasa natural:** Es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana. Por ejemplo, los derivados de la limpieza de bosques y de restos de plantaciones, leñas y ramas.
- **Biomasa residual:** Son los residuos orgánicos que provienen de las actividades que realizan las personas utilizando materias orgánicas (residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de sistemas productivos agropecuarios, de producción forestal, entre otros).

En muchos casos, su disposición final como residuos supone un problema, derivado de los costos o la logística. De aplicar en ellas tecnologías asociadas al uso de biomasa se logra, mediante un programa de gestión de residuos, la implementación de tecnologías sostenibles desde la visión ambiental, económica y social.

De esta forma, se logra una baja en las emisiones de gases de efecto invernadero, con aporte a la sustentabilidad ambiental (se reduce la vulnerabilidad energética, pueden generarse recursos económicos, excedentes energéticos, puestos de trabajo, contribuir al desarrollo rural).

- **Biomasa producida:** Son los cultivos orientados al uso energético. Entre ellos, los cultivos tradicionales (cereales, caña de azúcar, semillas oleaginosas) y otros no convencionales (cynara, patata, sorgo dulce). Se incluye también los excedentes agrícolas que no empleados en la alimentación humana ni animal, que no comprometen la seguridad alimentaria y pueden considerarse su utilización con fines energéticos.

Otras clasificaciones de biomasa:





Producción de energía

La biomasa se caracteriza por tener contenido de carbono, oxígeno y compuestos volátiles. Estos compuestos (formados por cadenas largas del tipo carbono (C) e hidrógeno (H), y presencia de dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) e H) son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa.

El proceso de generación de energía se debe a la cantidad de energía disponible en el material que conforma la biomasa.

El carbón reacciona con el oxígeno en procesos térmicos, liberando energía en forma de calor. La cantidad de energía producida depende de las cadenas de carbono que conforman la estructura de la biomasa.

Cuando se quema biomasa se producen reacciones químicas en las que se combina el carbono contenido con el oxígeno del ambiente para resultar (CO_2), además de combinarse el H con O_2 para formar vapor de agua. Cuando el efecto de la combustión es completo, todo el carbón se transforma en CO_2 . Por eso es importante que la biomasa se emplee en forma sostenible con árboles y plantas en crecimiento para que capten nuevamente el CO_2 de la atmósfera.

Es importante entender que la misma es menor que los combustibles de origen fósil y depende del porcentaje de humedad que lo conforma el grado de eficiencia energética. A mayor humedad de la biomasa, menor eficiencia energética.

Métodos de transformación de la biomasa en energía

Existen diferentes formas o procesos para transformar la biomasa en energía aprovechable. No obstante, las más utilizadas son:

- **Procesos de combustión directa:** Se aplica para generar calor por medio de la quema de biomasa. Ejemplos de este sistema simple son las estufas, hornos y calderas.
- **Procesos termoquímicos:** La biomasa se convierte en un producto combustible a través de un proceso de pirólisis o carbonización. El producto final tiene más densidad y valor calorífico, lo cual hace más conveniente su utilización y transporte.
Los materiales que mejor funcionan son los de menor humedad (madera, paja, cáscaras).
- **Procesos bioquímicos:** Utilizan biomasa humedecida con bacterias en un ambiente anaeróbico para producir biogás, un gas combustible que se obtiene mediante un biodigestor.



A partir de biomasa de alto contenido en humedad, se utilizan diferentes microorganismos que degradan las moléculas. Los mecanismos más corrientes son:

- **Fermentación alcohólica.** Técnica que consiste en la fermentación de hidratos de carbono que se encuentran en las plantas y en la que se consigue un alcohol (etanol) que puede utilizarse en la industria.
- **Fermentación metánica.** Digestión anaerobia (sin oxígeno) de la biomasa, donde la materia orgánica se descompone (fermenta), dando origen al biogás.

Este tipo de fermentación se verá en un capítulo especial, ya que es el eje de trabajo del biodigestor

Otros procesos

- **Combustión.** Existe cuando quemamos la biomasa con mucho aire (20-40% superior al teórico) a una temperatura de entre 600 y 1.300°C. Es el modo más básico para recuperar la energía de la biomasa, de donde surgen gases calientes para producir electricidad y calor (calefacción) aplicables a viviendas e industrias.
- **Pirólisis.** Se trata de descomponer la biomasa utilizando el calor (a unos 500°C) sin oxígeno. A través de este proceso se obtienen gases formados por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos, líquidos hidrocarbonatos y residuos sólidos carbonosos. Este proceso es el aplicado desde hace años en la obtención de carbón vegetal.
- **Gasificación.** Existe cuando hay una combustión y se producen diferentes elementos químicos: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H) y metano (CH₄), en cantidades diferentes. La temperatura de la gasificación puede estar entre 700 y 1.500°C y el oxígeno entre el 10 y el 50%. Según se utilice aire u oxígeno, se crean dos procedimientos de gasificación distintos. Por un lado, el gasógeno o "gas pobre" y por otro el gas de síntesis. Este último se transforma en combustibles líquidos (metanol y gasolinas); de ahí su importancia. Por esa causa se están llevando a cabo grandes esfuerzos que tienden a mejorar el proceso de gasificación con oxígeno.
- **Co-combustión.** Consiste en la utilización de la biomasa como combustible de ayuda mientras se realiza la combustión de carbón en las calderas. Con este proceso se reducen el consumo de carbón y las emisiones. Aplicando los diferentes procesos de conversión, la biomasa puede transformarse en diferentes formas de energía:



- **Calor y vapor:** es posible generar calor y vapor mediante la combustión de biomasa o biogás. El calor puede ser el producto principal –para aplicaciones en calefacción y cocción–, o puede ser un subproducto de la generación de electricidad en plantas que cogen electricidad y vapor.
- **Combustible gaseoso:** el biogás producido en procesos de digestión anaeróbica o gasificación puede ser usado en motores de combustión interna para generación eléctrica, calefacción y acondicionamiento en el sector doméstico, comercial e institucional y en vehículos modificados.
- **Biocombustibles:** el etanol y el biodiesel, tiene el potencial para reemplazar cantidades significativas de combustibles fósiles en muchas aplicaciones de transporte.
- **Electricidad:** la electricidad generada a partir de los recursos biomásicos puede ser comercializada como “energía verde”, pues no contribuye al efecto invernadero por estar libre de emisiones de dióxido de carbono (CO₂).
- **Co-generación (calor y electricidad):** es la producción simultánea de vapor y electricidad, la que puede aplicarse a muchos procesos industriales que requieren ambas formas de energía.

Bioenergías

La bioenergía es una oportunidad de mejora en los sistemas productivos agropecuarios, tanto para el desarrollo social como económico:

- Permite el acceso a la energía en poblaciones de alta vulnerabilidad social y energética.
- Su desarrollo es viable desde el punto de vista tecnológico (a escala familiar o industrial) y económico (subsistencia o generación energética a gran escala).
- Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, porque el carbono que se libera durante la combustión es vuelto a capturar a lo largo del proceso de crecimiento vegetal.
- Es un medio para el desarrollo rural, la equidad y la reducción de la pobreza, la ordenación de tierras y bosques y la biodiversidad.
- Beneficios potenciales: **desarrollos locales de proyectos en marco de bioeconomía y economía circular.**
- **Punto crítico del desarrollo de estas energías.**

*Acceso al agua para desarrollo de Biodigestores
Acceso a la biomasa; distancias, logística, mano de obra
y mantenimiento.*



Impactos negativos potenciales

- **Riesgos en la seguridad alimentaria:** Menor disponibilidad local de alimentos cuando las tierras agrícolas **son reemplazadas con plantaciones energéticas, lo que reduce la oferta de alimentos, llevando al alza de precios**

Impacto negativo sobre la forestación, biodiversidad y las emisiones de gases de efecto invernadero a causa de la demanda de tierras para cultivos energéticos si no se gestiona en forma correcta.

- **Riesgos ambientales** requiere de adaptación de los vehículos y las infraestructuras utilizadas para las operaciones relacionadas con los combustibles. Desplazamiento de los pequeños agricultores y concentración de la tenencia de la tierra y de los ingresos. Menor calidad y fertilidad de los suelos ocasionada por las prácticas de cultivo intensivo exigidas por los cultivos bioenergéticos. Entrega distorsionada de las subvenciones a otros sectores y creación de desigualdades a través de los países¹.

Es importante remarcar que las reducciones efectivas de emisiones dependen de los procedimientos de producción y elaboración de la bioenergía, y, lo que es más importante, del lugar de producción de las materias primas bioenergéticas.

La conversión de las tierras con alto contenido en carbono (tales como los bosques naturales o las turberas) en terrenos que se dedican a la producción de materias primas bioenergéticas—o a la producción de otros cultivos en sustitución de los que fueron desplazados por la producción de aquéllas— puede dar origen a la liberación de una cantidad de gases de efecto invernadero muy superior a la cuantía de las reducciones anuales de emisiones resultantes de varios años de producción de materias primas bioenergéticas en esas mismas tierras.

Biogás y bioeconomía

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, a causa de las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno.

Ofrece una fuente local de energía y calor para las comunidades, y un combustible de cocina limpio para los hogares. Su importancia radica en el rol ambiental, ya que mediante una buena gestión de residuos en los sistemas productivos (de cualquier escala de desarrollo económico) genera una fuente de energía de baja emisión de gases de efecto invernadero, y como efecto cascada, un biofertilizante.

¹ Fuentes: FAO, 2000; ONU-Energía, 2007; Perley, 2008



Perspectivas económicas de las bioenergías

Las bioenergías ocupan un rol importante en la economía energética global dado que su empleo es un elemento crítico actual y futuro en la búsqueda de generar bajas emisiones de carbono. Particularmente pueden cobrar relevancia en la re-ducción de las emisiones de gases del efecto invernadero (GEI) del sector de transporte.

La generación de energía a partir de la biomasa representa una opción competitiva, principalmente en regiones donde se encuentran disponibles residuos o desechos agrícolas o forestales, entre otros.

Por realizar un aprovechamiento de desechos, los costos de materias primas (incluidos los producidos en instalaciones industriales) pueden resultar mínimos.

La bioenergía puede proporcionar electricidad distribuible o de carga en base a costos muy competitivos.

El LCOE (Levelized Cost of Energy) o costo nivelado de energía por sus siglas en inglés, indicador de costo presente neto promedio de electricidad para una planta durante su vida útil, ha oscilado entre rangos de USD 0,04/kWh en India y USD 0,05/kWh en China hasta USD 0,085/kWh en Europa y América del Norte en los últimos diez años.

Por otra parte, en los proyectos individuales, el costo de generación de energía varía entre USD 0,03 y 0,14/kWh².

Además de presentar alternativas competentes de costos y contribuir a la disminución de las emisiones de carbono, las bioenergías traen aparejado el beneficio macroeconómico de ser la segunda fuente de energía renovable que capta mayor cantidad de registros de empleo, superando, en 2018, los tres millones de puestos de trabajo en el mundo³.

En Argentina, por su parte, a fines de 2018, la cantidad de empleos registrados por el total de tecnologías que comprenden las biotecnologías sumo 7.300 puestos de trabajo, ocupando el segundo lugar entre las fuentes de trabajo provenientes de energías renovables, luego de la hidrogenación.



² Fuente: International Renewable Energy Agency

³ Fuente: Ídem anterior.



Costos y aportes de las bioenergías en la matriz energética argentina

Dada las características anteriormente mencionadas, las bioenergías representan una oportunidad para el desarrollo energético en el país, la que cobra mayor magnitud a la luz de las características de la estructura económica argentina que carece de las divisas suficientes para emplear en la generación de energía.

Esta oportunidad se sustenta, a su vez, en el compromiso que mantiene la Argentina en relación al cambio climático, con la reducción del 15% de los gases del efecto invernadero de cara al 2030, y el aporte a la matriz energética de al menos el 20% proveniente de fuentes renovables hacia el 2025.

Tales medidas se materializan principalmente en la Ley 27191 donde se encuentran plasmadas las bases y condiciones del régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinadas a la producción de electricidad.

Dicha ley creó el Fondo Fiduciario Público denominado “Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables” con el objeto de otorgar préstamos y realizar aportes de capital con la cooperación de recursos provenientes del Tesoro Nacional.

De esta ley se desprendieron una serie de convocatorias públicas para adjudicar contratos de abastecimiento de energía eléctrica de fuentes de generación renovables (conocidos como Power Purchase Agreement o PPA) a través del Programa RenovAr.

Desde su comienzo, en 2016, hasta las recientes rondas instaladas (1,5 y 2) se adjudicaron 18 proyectos con tecnología de la biomasa sumando una potencia de 157,7 MW y un precio promedio ponderado de 116,5 USD/MWh instalados principalmente en las regiones del NEA y NOA.

Con tecnologías de biogás, los proyectos adjudicados fueron 37, integrando una potencia de 64,9 MW a un precio promedio de 159,7 USD/MWh, mayoritariamente posicionados en el Centro y Litoral argentino.

Sobre el total de las energías renovables, en 2019, estos proyectos lograron alcanzar una participación del 7% para el cubrimiento de la demanda proveniente de las bioenergías.

Con la implementación de los programas mencionados, la integración de las bioenergías logró el principal objetivo proyectado de disminuir la intensidad de uso de carbono y, a su vez, producto de la diversificación de la matriz energética, reducir los costos derivados de la potencia que se encuentran en el precio monómico de la energía⁴.

⁴ Fuente: International Renewable Energy Agency



Marco legal

Bioeconomía - energías de baja emisión y biodigestores

En la década del 90 comenzó a crecer la preocupación por el cambio climático debido al aumento de los gases de efecto invernadero por encima de los valores considerados normales.

El primer paso global para afrontar el problema del aumento creciente de la concentración de gases de efecto invernadero ha sido la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Dentro de ese marco se firmó el protocolo de Kioto, en 1997, como primer avance hacia un régimen mundial de reducción y estabilización de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Este protocolo proporciona la estructura esencial para cualquier acuerdo internacional sobre el cambio climático que se firme en el futuro. Influye sobre las empresas a la hora de tomar decisiones sobre sus inversiones para el cuidado del ambiente y ha propiciado la creación del mercado del carbono. La Enmienda de Doha, ratificó el segundo período de vigencia (2013 - 2020).

Otro acuerdo, dentro del marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, es el de París. Tiene como meta mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de 2°C con respecto a los niveles previos a la industrialización y además propone esforzarse por lograr que ese aumento no sea superior a 1,5°C.

En consonancia con el Acuerdo de París, numerosos países buscan responder a la reducción de emisiones y la sostenibilidad mediante la creación de empleos y el crecimiento económico con inversión y tecnologías bajas en carbono.

La transición de las fuentes de energía y los materiales no renovables hacia la de recursos renovables va a requerir tiempo, pues son numerosos los obstáculos técnicos, sociales y políticos.

En el proceso hay que responder a muy diversos desafíos: además de considerar la seguridad energética, la seguridad alimentaria y nutricional y la del agua, también se debe atender al cambio climático.

En este contexto, la bioeconomía se ha convertido en parte integral de las estrategias de desarrollo en muchos países del mundo.

En general, las estrategias de los países se fundamentan en una agricultura más eficiente, para incrementar la producción de alimentos, y la de biomasa, para la producción de biocombustibles y otros bioproductos.

Al adoptar este enfoque se hace necesario reconciliar la agricultura y las necesidades de la industria frente a la biomasa y la tierra.



En Argentina se ha planteado un proceso nacional para el desarrollo de una estrategia marco de bioeconomía, a nivel regional, vinculada al concepto de territorios inteligentes.

El gobierno argentino publicó en 2017 su documento “Bioeconomía Argentina”, que presenta el plan de acción para el desarrollo de la bioeconomía en el país, y, posteriormente, un programa que destaca la necesidad de implementar estrategias en políticas y acciones definidas.

Por su parte, la Bolsa de Cereales ha destacado la importancia de los sectores de energía y alimentos, recomendando el desarrollo de políticas en biotecnología para promover su aplicación en la producción de alimentos, en el sector farmacéutico y en la protección ambiental.

En lo que respecta al marco legal vinculado a la protección del ambiente, cabe destacar que los acuerdos internacionales tienen jerarquía superior a las leyes nacionales.

Esto incluye la ley máxima, que es la Constitución de la Nación Argentina, en la que se establece que todo habitante goza del derecho a un ambiente sano y equilibrado y tiene la obligación de reparar cualquier daño ocasionado al ambiente. Además, prohíbe el ingreso de sustancias peligrosas al territorio nacional.

En lo que se refiere a otras leyes, podemos mencionar la Ley de Energías Renovables, la Ley General del Ambiente (Ley 25.675) y otras leyes de presupuestos mínimos, como la Ley de Bosques.

En 2004 entró en vigor la Ley 25.916 sobre Gestión de Residuos Domiciliarios, que establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de residuos domiciliarios de cualquier origen. Se exceptúan los que están regulados por normas específicas.

Es una ley de orden público que fija el mínimo común de protección en todo el territorio nacional, pudiendo las provincias, a su vez, dictar legislación de desarrollo más estricta, elevando los niveles de protección ambiental en sus respectivas jurisdicciones.

En consecuencia, cada autoridad local tiene la responsabilidad de la gestión integral de los residuos domiciliarios producidos en su jurisdicción, mediante el establecimiento de un sistema de gestión de residuos adaptados a las características y particularidades de cada una. Para ello, cuentan con la posibilidad de suscribir convenios bilaterales o multilaterales, que permitan la implementación de estrategias regionales para cierta parte o la totalidad de las etapas de la gestión integral de los residuos domiciliarios.

A partir de esta orientación, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, dentro del Plan Nacional de Economía Circular de Residuos, elaboró un documento denominado “Formulación de un Plan Estratégico Provincial de Gestión de Residuos hacia la Economía Circular”⁵.

⁵ Fuente: *Formulación de un Plan Estratégico Provincial de Gestión de Residuos hacia la Economía Circular*.”.



Consiste en un instrumento que deben desarrollar las provincias, con la debida participación de los municipios, para planificar una gestión de residuos sustentable en su territorio.

El propósito de estos planes es establecer un sistema que mejore sustancialmente el manejo de los residuos sólidos urbanos en el ámbito de cada provincia, desde el punto de vista ambiental, económico y social.

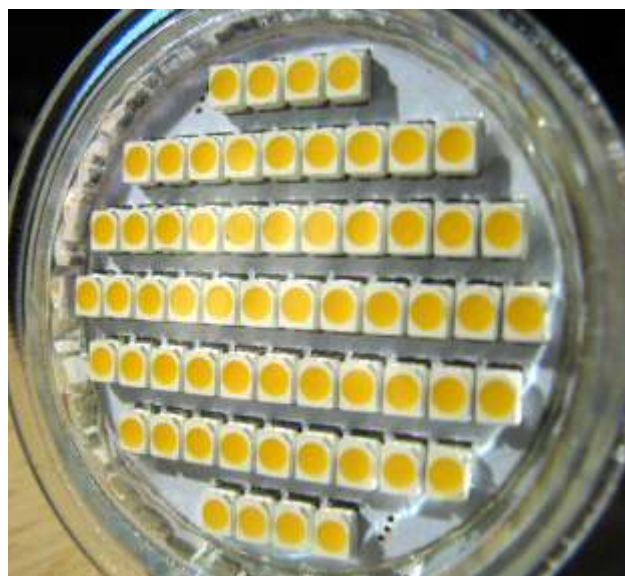
Ese plan estratégico deberá identificar lineamientos, acciones y políticas necesarias para lograr el ordenamiento y la mejora de la Gestión de Residuos Sólidos en la Provincia, contemplando el cierre de todos los basurales para 2025 y la tendencia a la disposición cero para 2035.



En 2007 entró en vigencia el Plan Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía. Promueve el reemplazo de lámparas incandescentes por las lámparas fluorescentes compactas y se comenzó a utilizar la etiqueta de eficiencia energética.

La ley 26473 prohibía la importación y comercialización de lámparas incandescentes a partir del 31 de diciembre de 2010.

Esta ley fue modificada por la n° 27492, que prohíbe, a partir del 31 de diciembre de 2019 la importación de cualquier lámpara halógena, dando lugar al reemplazo por la tecnología led.





La Ley de Energía Renovable n° 27191, sancionada en el 2015, tiene como objetivo lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el 20% del consumo de energía eléctrica nacional, en 2025, con objetivos intermedios.

Obliga a quienes consuman 300 kW, o más, a abastecer sus consumos eléctricos con generación que utilice fuentes de energías renovables (1% a partir de la entrada en vigencia de la ley, incrementándolo en 1% cada 6 meses hasta alcanzar el 8%). Amplía la definición de Fuentes de Energías Renovables al biodiesel y a los residuos sólidos urbanos.

El Programa Renovar surge de la ley n° 27191 y apunta a la generación de energías renovables para sumarlas a la oferta eléctrica del país, con el objetivo de instalar hasta 10.000 MW hacia 2025.

En cuanto a las energías limpias, desde 2006 está vigente la ley n° 26.093 de Biocombustibles.

En 2016, Argentina ratificó el Acuerdo de París, presentando en noviembre una ambiciosa Contribución Determinada a Nivel Nacional (reducciones previstas de las emisiones de gases de efecto invernadero).

A fines de 2017, fue sancionada la nueva ley sobre el “Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica Pública”. Su principal virtud, además del amplio consenso político alcanzado con su sanción, es que habilita este recurso de energía renovable distribuida y crea la figura del prosumidor—consumidores a la vez que generadores de energía—que entrega electricidad limpia, producida in situ, en el mismo lugar y al mismo voltaje en que va a ser consumida.

El 11 de noviembre de 2017 se llevó a cabo la presentación del Programa de la Fundación Ellen MacArthur para la Economía Circular, organizada por la red mundial de parlamentarios Globe International, la oficina para el Cono Sur de ONU Medio Ambiente y la Dirección General de Relaciones Internacionales de la Cámara de Diputados de la Nación argentina, con el objeto de avanzar en una agenda conjunta que incluya para 2030 la Economía Circular.

Estructura productiva

Argentina es un actor central en la producción de biocombustibles de primera generación, particularmente de biodiesel a partir del cultivo de soja (del cual es uno de los principales exportadores), y, de manera creciente, de etanol de caña y de maíz, y de biogás de distintas fuentes.

Estas capacidades son relevantes, no sólo por su potencial económico, sino también por lo que cada una puede aportar en el contexto de la crisis energética y una matriz energética donde se le otorgue un mayor peso a la energía distribuida.

El caso del biodiesel resalta la importancia de saber aprovechar las interacciones entre el uso de la biomasa y la eficiencia en la producción.



La confluencia de la siembra directa y el uso de organismos genéticamente modificados llevaron a que el país sea uno de los principales y más competitivos productores de soja y el principal exportador mundial de aceite y harina de soja. Cuando comenzó a crecer la demanda mundial de biodiesel fue esa condición la que facilitó la instalación de biorrefinerías para la producción de biodiesel y diversos subproductos industriales.

En Argentina hay 18 plantas que producen bioetanol, 13 desde la caña y 5 desde el maíz. En esas plantas, además de etanol, se extraen otros subproductos, mayormente destinados a la alimentación animal.



Las iniciativas descritas en su mayoría se encuentran localizadas en el interior del país y dan lugar a modelos de desarrollo para la producción regional de alimentos, como lácteos y carnes; biocombustibles y bioenergía, así como productos de alto valor agregado, viabilizando así otros desarrollos industriales y de pequeños centros urbanos.

La bioeconomía puede contribuir a la lucha contra el calentamiento global, lo que es particularmente importante para los pequeños agricultores.

Ellos viven en las regiones que están duramente golpeadas por las con-

secuencias de la afectación del clima por la actividad económica, y sin haberlo causado.

Los países que incorporen la bioeconomía como un nuevo concepto de política pública, tienen que establecer la prioridad de garantizar y mejorar el estado de la seguridad alimentaria a nivel local, nacional y regional.

Para lograrlo, el foco debe de estar orientado hacia la generación de cultivos de alta demanda de trabajo.

Un aumento sostenible de la productividad tiene que ser parte de la bioeconomía emergente, a través de la intensificación sostenible de la producción de biomasa y mejoras de la eficiencia de todas las actividades requeridas en los manejos posteriores a la cosecha.

Las economías se beneficiarán significativamente de la creciente demanda de biomasa si las partes principales buscaran el éxito de una estrategia que dependa de una adecuada articulación y del compromiso de los diferentes niveles de gobierno, y del sector privado, la sociedad civil y los organismos de cooperación internacionales.



Gestión de residuos agropecuarios

Las actividades agrícolas y ganaderas producen diferentes tipos de residuos, tanto orgánicos como inorgánicos. Los orgánicos son los que se producen en mayor cantidad.

Estos residuos son utilizados habitualmente en el marco de las explotaciones donde se generan y, en la mayoría de los casos, se los equipara a la materia prima, ya sea con fines de abonado o con destino a la alimentación animal.

La primera acción a planificar en relación con su gestión es la minimización en el punto de origen. Tanto a nivel económico como ambiental siempre es recomendable la reducción de la producción de residuos sobre la gestión de tratamiento de mayores cantidades.

Una vez asegurado un plan efectivo de reducción en la producción, es necesario planificar su gestión y el tratamiento, de manera tal de minimizar sus impactos ambientales.

Reducir, reutilizar y reciclar son tres palabras clave que deberían guiar la gestión de los residuos sin olvidar otros conceptos, como por ejemplo, eficiencia e impacto ambiental.

Generación de residuos en las actividades agroalimentarias

Mediante una gestión adecuada de residuos orgánicos agropecuarios es posible generar instancias de mejora física de los suelos, mediante la incorporación de materia orgánica proveniente de los residuos orgánicos tratados adecuadamente, mediante procesos que permiten la neutralización de microorganismos patógenos, con la disminución de su impacto ambiental

Si bien, son considerados de menor importancia y su generación no es de gran impacto, la gestión ambiental de residuos en la empresa agropecuaria debe incluir al papel, cartón y/o plásticos. Minimizar su producción, junto con un programa de reutilización, o de disposición final adecuada para la misma.

Las producciones ganaderas y aviares deben plantear su gestión de residuos orgánicos (deyecciones) como generadoras de instancias de bioeconomía. La reducción del impacto ambiental sobre su disposición final debe ser el centro de la gestión: reducción de impacto negativo o contaminación de los causes de agua, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros objetivos. Dichas gestiones deberán contemplarse al momento de la toma de decisión sobre la forma de producir.



La bioeconomía genera instancias superadoras a la sola base de separación y acúmulo de residuos orgánicos separados del área productiva. Por ejemplo, el tratamiento de los residuos orgánicos mediante compostaje o la biodigestión.

Genera el fenómeno de cascada, permitiendo dar valor agregado a dichos residuos, pasando a ser considerados subproductos del sistema

Los restos de los productos usados para la desinfección, insumos médicos veterinarios, así como fertilizantes, deben ser clasificados según su grado de peligrosidad e impacto ambiental. Deben tratarse adecuadamente para evitar su impacto en el medio, mediante su destino final. La correcta gestión del uso de insumos, junto con las buenas prácticas, disminuyen los riesgos de derramamientos de sustancias que entrañan riesgo ambiental.



Dentro del plan de gestión deben diseñarse estrategias de contención en caso de derramamientos de productos fitosanitarios y accidente de productos médicos veterinarios, entre otros.

Las emisiones de gases de efecto invernadero, como metano, amoníaco, dióxido de carbono y óxido nitroso, tienen su origen especialmente en la descomposición de biomasa residual.

Se considera que retorna al ciclo del carbono fijado por la biomasa primaria, no contribuyendo de forma neta al efecto invernadero.

El amoníaco produce malos olores, contribuye a la lluvia ácida y, en caso de ser respirado por las personas o los animales de manera continuada, puede provocar problemas respiratorios.

Tratamiento de los residuos orgánicos

El tratamiento de los residuos orgánicos puede ser viable, tanto a nivel individual como de manera colectiva.

Son múltiples las posibilidades respecto a los beneficios de la gestión de residuos:



● Valorización

- Bioenergías (por ejemplo almacenamiento de energía).
- Materiales de construcción biológicos como la lignina celulósica (productos líquidos de la madera).
- **Innovaciones en los procedimientos:** agricultura (alimentación, pienso, ganadería, energía), industria papelera (aprovechamiento de sus residuos).
- Adecuación de la composición a los requerimientos.
- Recuperación de nutrientes valorizables.
- Sanitización y cuidado ambiental.
- Servicios ecosistémicos o servicios del ecosistema. Se trata de recursos o procesos de los ecosistemas naturales (bienes y servicios) que benefician a los seres humanos. Incluyen productos como agua potable limpia y procesos tales como la descomposición de desechos.

Compostaje

El compostaje es un proceso biológico, que tiene lugar en presencia de oxígeno, en el cual parte de la materia orgánica del residuo se transforma, por acción de los microorganismos, en dióxido de carbono (CO_2) y agua.

Por la actividad de los microorganismos, este proceso genera energía, la cual permite una temperatura de proceso por encima de 50°C y condiciones de higienización.



Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es la descomposición biológica de la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, dando lugar a un gas energéticamente interesante (biogás) compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono.



Biofertilizantes

Los residuos orgánicos generan olores, emisiones de gases de efecto invernadero, lixiviados y problemas sanitarios.

Mediante un sistema de gestión de residuos en el que se aporta una valorización a los mismos y junto a la aplicación de tecnologías es posible obtener biofertilizante, además de otros productos mediante el efecto cascada.

La valorización de los residuos es una operación cuyo resultado principal es que el residuo sirve para una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular.

En el caso de los biodigestores, se obtiene además un subproducto agronómico, dando valor agregado necesario para la producción agrícola.

Por tanto, un esquema eficaz de gestión de los residuos orgánicos es fundamental para llevar una dinámica plenamente sostenible y mejorar la resiliencia, términos de nutrientes y flujos de energía.

Generalmente se sobreentiende que la principal función de los sistemas de bio-digestión anaeróbica es producir energía renovable (biogás). Sin embargo, en muchos lugares, los biodigestores tienen como objetivo principal la obtención de biofertilizantes, debido al valor agronómico que le da el tratamiento físico-químico de la materia orgánica que se realiza durante el proceso.

El biodigestor genera como resultado de la fermentación un efluente (lodo o fango) denominado "digestato" de alta calidad agronómica.

El digestato está constituido por dos partes diferenciadas en sus características: una fase líquida (biol) y una fase sólida (biosol).

El BIOL mejora el rendimiento de los cultivos hasta un 30%. Puede usarse como fertilizante foliar, o directamente sobre la tierra y como pre tratamiento sobre las semillas.

Las características químicas del digestato dependen de las fuentes de alimentación del biodigestor. El valor de los nutrientes del biofertilizante (P, K, N, Ca, Mg, ácidos húmicos y fúlvicos, entre otros) en comparación a los residuos ingresados es casi 1:1.

Se considera que cada biol es único, ya que depende de los sustratos de carga del biodigestor.

El biosol (material concentrado), es el resultado de la sedimentación de los sustratos de carga del biodigestor, que generalmente se obtiene por las prácticas de mantenimiento del biodigestor, aproximadamente una vez al año.



El biosol necesita cumplir con el proceso de estabilización (por ejemplo mediante el compostaje) antes de ser aplicado sobre los suelos, para lograr la transformación de los compuestos asimilables por las plantas (procesos de humificación y mineralización).

Presenta un alto valor nutricional, por lo que puede ser utilizado como biofertilizante, promoviendo la recirculación de nutrientes y brindando la posibilidad de reemplazar parcial o totalmente el uso de fertilizantes sintéticos, disminuyendo su empleo y evitando problemas de contaminación por concentración.

Normalmente tanto el biol como el biosol son utilizados como fertilizante. Sin embargo, nuevos desarrollos en el marco de la bioeconomía visualizan la obtención de otros tipos de bioproductos, como por ejemplo biopesticidas (Uso del *Bacillus thuringiensis*: programa H2020 de la Unión Europea: <http://www.decisive2020.eu/>)⁶

Alrededor del 90% del material que ingresa al biodigestor se transforma en biol. Esto depende naturalmente del tipo de material a fermentar y de las condiciones de fermentación.

La cantidad de los nutrientes está directamente relacionada con el tipo de sustratos usados para alimentar el biodigestor.

Cuando los digeridos tienen destino agronómico, es importante garantizar que en el proceso anaeróbico no se emplee agua o sustratos con concentraciones de metales pesados u otros tóxicos, ya que éstos persistirán en los productos finales. Los procesos microbiológicos que se producen dentro del biodigestor, (mesofílicos y termofílicos) logran reducir un alto porcentaje del contenido de materia seca de la mezcla utilizada para la alimentación, obteniéndose un producto digerido con una materia orgánica microbiológicamente más estable que los materiales originales.

La acción de los microorganismos modifica la proporción de nitrógeno inorgánico disponible ($N-NH_4^+$) en relación con el nitrógeno total (orgánico + inorgánico), lo que permite una asimilación rápida por parte de los cultivos y/o su transformación en nitratos en el suelo.

En cuanto a la estabilidad del digestato, es importante evitar las pérdidas de nitrógeno por volatilización durante el almacenamiento.

El control del pH del producto (menor a 8,0) y de las temperaturas elevadas (>20 °C) junto con la cubierta del espacio de reservorio, evita la evaporación del mismo.

⁶Valorización de digestato como sustrato para la producción de biopesticidas con *bacillus thuringiensis* mediante fermentación en estado sólido. Autores: Paula Rodríguez Serrano Directores de la Tesis: Xavier Font i Segura (dir. tes.), Antoni Sánchez Ferrer (dir. tes.) Lectura: En la Universitat Autònoma de Barcelona (España) en 2019 Idioma: español.



La porción asimilable del fósforo (P) no se ve significativamente afectada por el proceso, que preserva además micronutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos

Los digeridos contienen hormonas vegetales de crecimiento, que son desechos del metabolismo de los microorganismos típicos de la fermentación anaeróbica, ausentes en el compost: adeninas, purinas, auxinas, giberelinas y citoquininas.

Según algunos autores, un digerido puede ser considerado apto para utilizar directamente en agricultura si el Carbono es menor que 5,5 g/l y la relación carbono/nitrógeno es inferior a 1,5 (Alburquerque et al., 2012).

Si estas condiciones no se cumplen, será necesario realizar una maduración posterior del digerido o aplicarlo con suficiente antelación a la fecha de siembra, esto es, al menos 3-4 semanas en verano y 4-6 semanas en invierno (Bernal Calderón et al., 2014).

El biosol, para su uso como biofertilizante, requiere de un proceso de estabilización que puede realizarse mediante un compostaje. Es mediante este proceso que puede balancearse, de ser necesario, el pH, la relación C/N y controlar la presencia de patógenos.

El contenido de patógenos en el compostaje está establecido por la resolución n°264/2011 del SENASA. Para el certificado de compost establece que no debe detectarse presencia de *Salmonella* spp.; el contenido de coliformes fecales debe ser inferior a 100 nmp/g de peso seco, y los helmintos, menos de un huevo viable en 4 g de peso seco. (No hay norma aplicable en Argentina para parámetros físico químicos).

Respecto a los metales pesados, su presencia en los biofertilizantes debe contemplar los parámetros con límites máximos que establezca la autoridad de aplicación para cada uso.

Humificación como proceso de mejora del suelo

Es la transformación de compuestos orgánicos, por medio de microorganismos, a compuestos orgánicos sin composición definida (no son aminoácidos, ni ácidos orgánicos, ni tampoco biomasa microbiana viva), y bioestable.

Confiere al suelo características idóneas:

- Aumenta la aireación.
- Produce humedad, con capacidad de intercambio catiónico.
- Genera la formación de agregados.
- Mejora la estructura del suelo.
- Contribuye al control de enfermedades.
- Secuestra el carbono y disminuye la emisión de dióxido de carbono.



En consecuencia, humificación se trata de un proceso óptimo desde el punto de vista de la sostenibilidad.

La humificación, que es proceso microbiológico y químico que permiten la transformación de la materia orgánica en humus.

La materia orgánica del suelo sufre ciertas transformaciones al entrar en contacto con las sustancias orgánicas que están en él y por encima de él, y que se han formado por la descomposición de plantas muertas.

Este producto orgánico que proviene de la descomposición de los desechos carbónicos, animales y vegetales, libera elementos minerales asimilables por la planta y en función de eso se clasifica en humus ácido y de lombriz.

El potencial productivo del suelo está estrechamente relacionado con la presencia de materia orgánica, en relación a la capacidad de intercambio catiónico y con ello de retención de nutrientes (fuente importante de nitrógeno y fósforo).

El uso de biosol como acondicionador del suelo tiene como principal papel la restitución al suelo de materia orgánica estable o humus estable.

- Los compuestos orgánicos presentes en el bioabono como la lignina, celulosa y hemicelulosa contribuyen a la formación de humus estable, previenen la erosión y aumentan la permeabilidad del suelo.
- Constituyen también la base para el desarrollo de los microorganismos responsables de la conversión de los nutrientes en una forma que puede ser incorporada fácilmente por las plantas.
- La concentración de amonio ayuda a evitar la pérdida de nitrógeno por lavado y lixiviación del suelo, así como las pérdidas por volatilización producidas por los procesos biológicos de desnitrificación.
- Aumenta y mantiene la estabilidad de la estructura del suelo.
- Aumenta la permeabilidad y la capacidad de retención y de drenaje hídrico e intercambio de gases.
- Permite un régimen térmico más estable.
- Reduce evaporación y erosión.

Mejoras ambientales

Finalizado el proceso de producción del biosol, se obtiene un producto que presenta:

Disminución de población de microorganismos patógenos mejorando la calidad sanitaria.

Actividad microbiológica que desarrolla fermentos nitrosos y nítricos, así como el crecimiento de hongos y levaduras.



Biofertilizantes cuyo empleo permite la adopción de buenas prácticas de manejo en la aplicación de bioabono.

Menores emisiones de gases de efecto invernadero respecto al uso de fertilizantes químicos.

Menor contaminación difusa de nutrientes por escorrentía y lixiviación.

Reducción de compuestos orgánicos volátiles causantes de malos olores (contaminación odorífica).

Sustitución de fertilizantes químicos sintéticos.

Disminución del riesgo de vulnerar la inocuidad de los alimentos, ya que se disminuye la carga de microorganismos patógenos al no aplicar como abono materia fecal fresca de los animales al sistema productivo.

Mejora las condiciones ambientales de las casas y de los sistemas productivos, ya que disminuye la presencia de insectos y plagas.

Según los resultados de un estudio presentado en 2017 el workshop "Advances in cleaner production"⁷ los bioabonos pueden competir con los fertilizantes químicos en la producción hortícola biointensiva, produciendo un ahorro energético con respecto a otros abonos convencionales en suelos degradados.

El biol al 25% resulta ser un mejorador del poder germinativo y del crecimiento de plántulas.

Contar con un producto no contaminante que ofrezca nutrientes, sustancias hormonales, proteínas y bacterias biocontroladoras, y que permita aumentar el poder germinativo y el crecimiento de las plántulas, constituye una excelente alternativa para la producción biointensiva.

Se ha comprobado que para el caso del biosol, el mayor crecimiento de plantines de rabanito se obtiene en la mezcla correspondiente al tratamiento con 25% suelo y 75% de biosol.

En general a partir de mezclas al 50% de suelo y biosol se podría utilizar este biofertilizante obteniéndose mayor crecimiento tanto de parte aérea como radicular.

⁷2017 workshop "Advances in cleaner production".



Metano

El metano es el hidrocarburo alcano más sencillo que existe. Su fórmula química es CH_4 , lo que significa que hay cuatro átomos de hidrógeno y uno de carbono, unidos por enlaces covalentes.

El metano se encuentra en la naturaleza en forma de gas a temperaturas y presiones normales. Su origen se debe al proceso de putrefacción o fermentación anaeróbica en plantas.

Recordemos que la fermentación es un proceso catabólico de oxidación incompleta, que no requiere oxígeno, y cuyo producto final es un compuesto orgánico.

Según los productos finales, existen diversos tipos de fermentación. Este proceso natural se puede aprovechar para producir biogás. Muchos microorganismos anaeróbicos lo generan utilizando el CO_2 como aceptor final de electrones.

El metano es un gas incoloro e inodoro. Su descubrimiento se produjo en 1976-78, por el físico italiano Alessandro Volta.

Entre las utilidades que tiene el metano, destaca su aplicación como combustible.

Su calor de combustión es el menor de todos los hidrocarburos, pero si se divide su masa molecular produce la misma cantidad de calor que los más complejos. Esto hace que sea de gran utilidad para el uso doméstico, siendo conocido como gas natural.



El metano se puede obtener de distintas fuentes. La principal es la que se extrae de los depósitos geológicos, creados por la descomposición de materia orgánica.

También se puede obtener de la fermentación de restos orgánicos, como por ejemplo los residuos orgánicos de los sistemas productivos, domiciliarios, o los lodos de las aguas residuales.



El gas natural lo contiene en diversas proporciones. Según el yacimiento de donde es extraído se estima entre el 83% al 97%.

El gas natural comercializado es mayoritariamente metano con algunos otros hidrocarburos añadidos en pequeña proporción, como etano, propano, butano y algo de nitrógeno.

En las últimas décadas ha cobrado importancia la explotación comercial del gas metano de carbón, como fuente de energía.

Importancia del metano en el ambiente

Reside principalmente en su relación directa con la generación del efecto invernadero.

Nos referimos esencialmente a la absorción y emisión de radiación dentro del rango de infrarrojo, cuyo aumento de concentración en la atmósfera, genera un aumento de la temperatura media terrestre, con un efecto conocido como cambio climático.

Se ha estimado que si las emisiones de gases de efecto invernadero continúan al ritmo actual, la temperatura de la superficie terrestre podría exceder los valores históricos hacia 2047, con efectos potencialmente dañinos en los ecosistemas y la biodiversidad, con el consiguiente riesgo para la subsistencia de las personas en el planeta.

Estimaciones de agosto de 2016 sugieren que de continuar la actual trayectoria de emisiones contaminantes, la Tierra podría superar el límite de 2 °C de calentamiento global, (límite señalado por el como un calentamiento global "peligroso" por el IPCC⁸ 2036.

El metano es un gas de efecto invernadero relativamente potente que contribuye al calentamiento global del planeta Tierra ya que tiene un potencial de calentamiento global de 23. Esto significa que en una medida de tiempo de 100 años cada kg de CH₄ calienta la Tierra 23 veces más que la misma masa de CO₂.

Sin embargo, hay cerca de 220 veces más dióxido de carbono que de metano en la atmósfera de la Tierra por lo que su contribución al efecto invernadero es relativamente menor, según la FAO⁹.

⁸ IPCC, 2019: Resumen para responsables de políticas. En: El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres [P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendía, V. Masson-Delmotte, H. O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley (eds.)]. En prensa.

⁹ FAO, Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático 2017, https://es.wikipedia.org/wiki/Gas_de_efecto_invernadero



Resulta importante destacar que el cambio climático representa una de las mayores amenazas para la producción alimentaria mundial.

Para abastecer la demanda mundial de alimentos de forma sostenible se requiere el empleo de sistemas institucionales adecuados en los sectores agrícola, ganadero, forestal y pesquero.

A través de medidas agrícolas sostenibles, adaptadas al contexto local, los pequeños agricultores pueden aumentar su productividad e ingresos, y fortalecer la resiliencia de sus actividades agrícolas frente a los fenómenos meteorológicos extremos¹⁰.

Origen del metano

El 60% de las emisiones de metanos son de origen antropogénico, especialmente por las actividades agrícola-ganaderas y otras.

La mayor fuente de metano es su extracción de los depósitos geológicos conocidos como campos de gas natural. Se encuentra asociado a otros hidrocarburos combustibles y a veces acompañado por helio y nitrógeno.

El gas, especialmente el situado en formaciones poco profundas (baja presión), se forma por la descomposición anaeróbica de materia orgánica y el resto se cree que proviene de la lenta desgasificación de los materiales primordiales situados en las partes más profundas del planeta.

En términos generales, los depósitos de gas se generan en sedimentos enterrados a mayor profundidad y más altas temperaturas que los que dan lugar al petróleo.

Por último:

Se puede obtener metano mediante el biogás generado por la fermentación bajo condiciones anaeróbicas, de materia orgánica que se encuentra en los residuos orgánicos de sistemas productivos agropecuarios domésticos, industriales, lodos de aguas residuales.

En el caso del curso que dicta el Centro de Educación y Gestión Ambiental (CEGA) de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la UBA la tecnología de uso es el desarrollo de biodigestores familiares, para la obtención de gas de uso domiciliario.

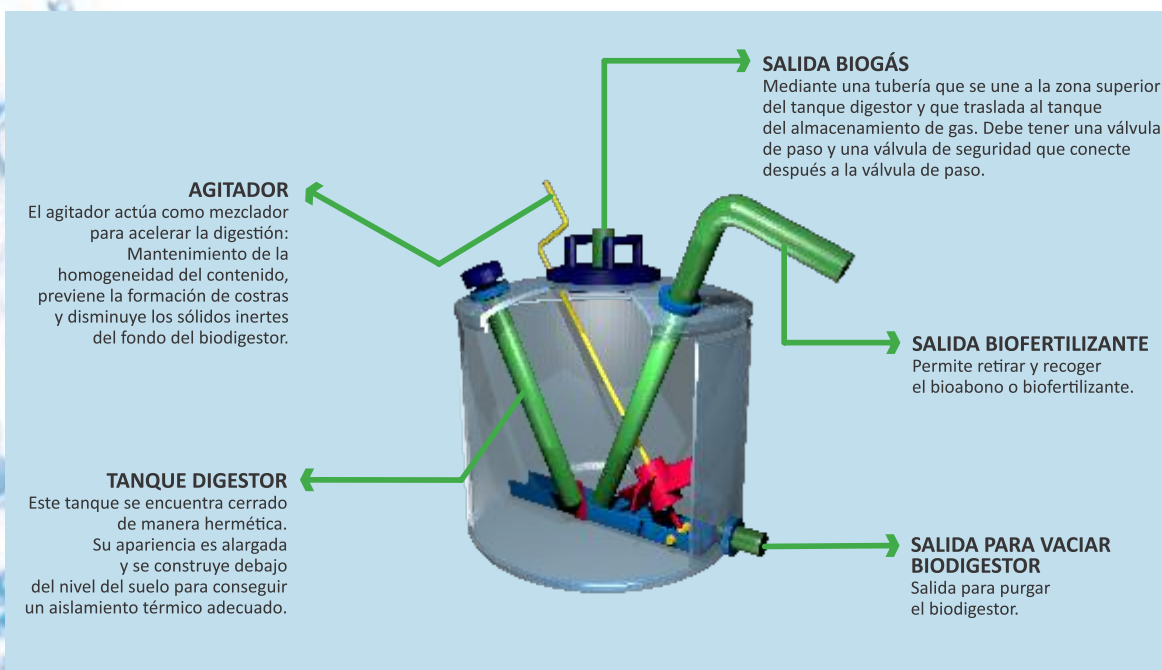
De esta forma se obtienen beneficios ambientales (mitigación en las emisiones de gases de efecto invernadero), gestión de residuos, y dos tipos diferentes de subproductos: biosol y biofertilizante (Bioeconomía)

¹⁰El trabajo de la FAO sobre el cambio climático Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático 2017. <http://www.fao.org/3/a-i8037s.pdf>



Biodigestor

Un digestor biológico o biodigestor, es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor) dentro del cual se deposita materia orgánica, la cual mediante un proceso fermentativos anaeróbico, da como resultado la obtención de gas metano y otros gases en menor proporción



Ventajas de la implementación de biodigestores familiares

- Gestión de residuos
- Obtención de fertilizantes (biosol y biofertilizante)
- Generación de energía renovable de baja emisión

La producción de gas metano en un biodigestor

El proceso metanogénico depende de:

- Los microorganismos, especialmente los metanogénicos, son altamente susceptibles a los cambios en las condiciones ambientales.



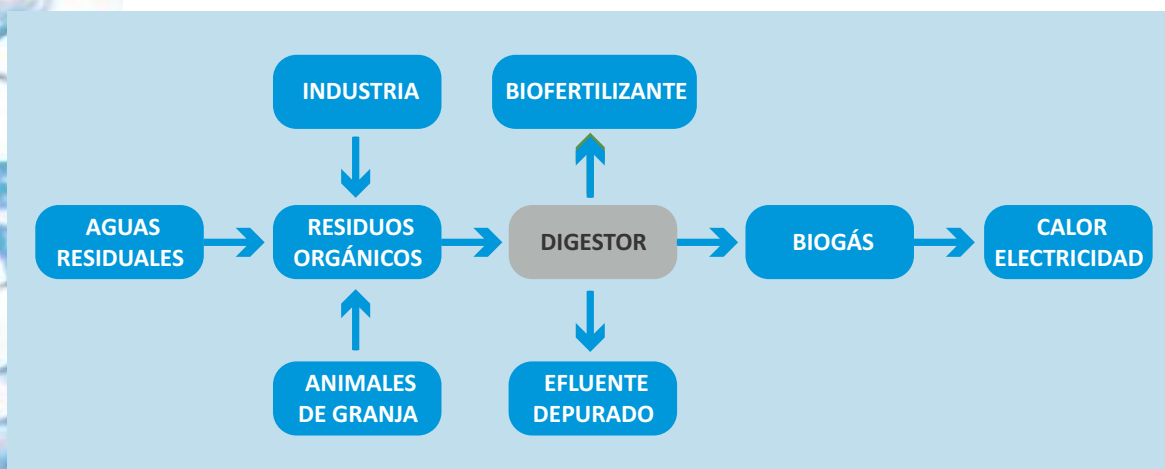
- Temperatura (mesofílica o termofílica).
- Tipo de materias primas, nutrientes y
- Concentración de minerales traza.
- PH (generalmente cercano a la neutralidad).
- Toxicidad y condiciones redox óptimas.

Los factores externos al proceso metanogénico son:

- Temperatura.
- Tiempos de retención.
- Acceso al agua.
- Disponibilidad de materia orgánica (ejemplo, tres bovinos generan alrededor de 20 kg de materia fecal por día (requiere de estabulación para su recolección)).
- Apropiación de la tecnología por parte de los usuarios.
- Materias primas: Las materias primas que se pueden utilizar en la fermentación metanogénica pueden ser residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros. Por ejemplo, estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados, de origen vegetal malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado. Residuos de origen humano: heces, basura, orina. Residuos agroindustriales: salvado de arroz, orujos, melazas, residuos de semillas.

Fundamentos de la producción de Biogás

La biotecnología anaeróbica cumple con varias necesidades básicas como el control de la contaminación, la producción de biocombustible y la producción de bioabono.



Productos del proceso de digestión anaeróbica.

Fuente: CIEMAT (La Biomasa como fuente de Energía y Productos para la Agricultura y la Industria)



La producción del biogás se basa en el fenómeno de biodigestión o biometanización. Dicho en otras palabras, se sustenta en la digestión anaeróbica.

Se trata de un proceso biológico complejo que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno, en el cual la materia orgánica (residuos animales y vegetales) se degrada por la acción microbiana y se obtiene como sustrato biogás y biofertilizante.

El proceso se lleva a cabo en reactores cerrados comúnmente conocidos como digestores anaeróbicos o biodigestores.

El biogás es la única energía renovable que puede usarse para cualquiera de las grandes aplicaciones energéticas: eléctrica, térmica o como combustible.

Está compuesto por 55 a 70 % de metano (CH_4), entre un 30 y 45 % de dióxido de carbono (CO_2) y menos del 5 % de trazas de otros gases como hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2), monóxido de carbono (CO), oxígeno (O_2) y ácido sulfhídrico (H_2S), entre otros.

Las variaciones en las distintas concentraciones de los gases dependen del tipo de materia orgánica utilizada como sustrato.

Un estudio (Rasi y col, 2007)¹¹ Trace Compounds of Biogas from Different Biogas Production Plants August 2007 Energy 32(8): 1375-1380 DOI: 10.1016/j.energy.2006.10.018 demostró que su composición también varía según el tipo de planta de producción. Los autores evidenciaron que el mayor contenido de metano y de compuestos azufrados se produjo en el gas del digestor de aguas residuales, mientras que el menor contenido de metano y el mayor contenido de nitrógeno se obtuvo en el gas del vertedero durante el invierno.

Asimismo, la cantidad de compuestos orgánicos volátiles totales varió de 5 a 268 mg/m^3 , y fue el más bajo en la planta de biogás de granja.

El poder calorífico del biogás es de entre 4700 a 5500 kcal/m^3 , pudiendo generar entre 19,7 a 23 MJ/m^3 , dependiendo del contenido de CH_4 .

Estos valores son menores si se los compara con los poderes caloríficos del gas natural y del gas propano.

Su temperatura de ignición es similar a la del metano puro y varía entre 650 y 750 °C.

A su vez, como el CH_4 tiene un potencial de calentamiento global 21 veces superior al CO_2 , el biogás tiene un gran potencial para contribuir a reducir emisiones de gases de efecto invernadero.

Otro dato a tener en cuenta, es que como su densidad es menor a la del aire ($1,25 \text{ kg/m}^3$), entonces en caso de una fuga de biogás, este sube a la superficie rápidamente y al mezclarse con el O_2 del aire puede ser explosivo.

¹¹Trace Compounds of Biogas from Different Biogas Production Plants August 2007 Energy 32(8): 1375-1380 DOI: 10.1016/j.energy.2006.10.018 Rasi y col, 2007



Según estudios bioquímicos y microbiológicos se evidencian diferentes etapas durante la fermentación metanogénica. Estas son, en primer lugar, un proceso de hidrólisis, seguido de un proceso fermentativo o acidogénico, luego un proceso acetogénico y por último el proceso metanogénico.

Hay que tener en cuenta que muchas de estas reacciones se pueden dar en forma simultánea.

En la etapa de hidrólisis, las enzimas extracelulares de los microorganismos hidrolíticos, hidrolizan las proteínas (fuentes de carbono y energía), los hidratos de carbono y los lípidos, –todas moléculas complejas de la materia orgánica–, y como resultado se obtienen aminoácidos, glúcidos, ácidos grasos de cadenas largas (compuestos sencillos) y glicerol.

Éstos serán metabolizados por los microorganismos acidogénicos originando ácidos grasos de cadenas cortas, alcoholes, H_2 , CO_2 y otros productos intermedios (etapa acidogénica).

La etapa acetogénica se caracteriza por la acción de los microorganismos acetogénicos que transforman los ácidos grasos de cadena corta en ácido acético, H_2 y CO_2 .

Y por último, las bacterias metanogénicas utilizarán como sustrato estos compuestos para la producción de CH_4 .

La etapa hidrolítica es la limitante de la velocidad del proceso digestivo. Depende de la temperatura en la cual se lleva a cabo el proceso (a mayor temperatura, mayor tasa de hidrólisis) y de la composición bioquímica del sustrato, en especial del porcentaje de lignina, celulosa y hemicelulosa.

Taherzadeh y Karimi en el año 2008¹², han investigado varios métodos de pretratamiento para lignocelulosas y materiales de desecho logrando un mejor ataque enzimático, con el fin de mejorar la producción de biogás, reportando diversas ventajas para la mayoría de los métodos analizados, como la molienda, la irradiación, el tratamiento con agua a alta temperatura, y otros.

A su vez la etapa hidrolítica depende del tamaño de las partículas (disponibilidad de superficie para la adsorción de las enzimas hidrolíticas), del pH del medio y de la concentración de amonios.

Tanto el pH como la relación carbono/nitrógeno juegan un rol importante en el proceso de digestión anaeróbica. El pH influye en los equilibrios químicos de NH_3 , H_2S y ácidos grasos volátiles, que podrían inhibir la actividad de los microorganismos, si sus valores no son los adecuados.

¹²Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. October 2008 International Journal of Molecular Sciences 9(9):1621-51DOI: 10.3390/ijms9091621



En la medida que la tasa de hidrólisis sea mayor, menor será el tiempo de retención hidráulica, siendo un fenómeno beneficioso para el proceso fermentativo.

La etapa acidogénica es importante no sólo porque en su transcurso se produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que además en ella se elimina cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema.

Tras la etapa de hidrólisis, las diferentes rutas de fermentación son llevadas a cabo por diferentes géneros bacterianos: *Saccharomyces* (fermentación alcohólica), *Butyribacterium* y *Clostridium* (fermentación butírica), *Lactobacillus* y *Streptococcus* (fermentación del lactato) y *Clostridium* (fermentación del propionato).

La población acidogénica es la más grande, suponiendo cerca del 90 % de la población total de un digestor.

Algunos de los microorganismos presentes dentro de este grupo son: *Acinetobacter Lwoffii*, *Acinetobacter sp*, *Actinomyces sp*, *Alcaligenes*, *Pasteurella sp*, *Staphylococcus hominis*, *Bacillus*, *Klebsiella oxytoca*, *Clostridium spp*, *Peptococcus*, *Bifidobacterium*, *Delsulphovibrio spp*, *Lactobacillus*, *Staphylococcus* y *Escherichia coli*.

La velocidad de crecimiento de las bacterias acidogénicas es notablemente más alta comparada con la de las metanogénicas y son capaces de sobrevivir a condiciones extremas como un pH bajo, altas temperaturas y altas cargas orgánicas.

Las bacterias acetogénicas convierten los ácidos grasos volátiles y alcoholes en acetato, H_2 y CO_2 , que serán los sustratos para las metanogénicas y las bacterias sulfatoreductoras.

En cuanto a velocidad de crecimiento, generalmente, las acetogénicas crecen mucho más rápido que las metanogénicas.

Es importante destacar que las bacterias que producen hidrógeno están obligatoriamente ligadas a los microorganismos metanogénicos hidrogenotróficos y las bacterias sulfatoreductoras que lo consumen.

Únicamente cuando estos microorganismos mantienen suficientemente baja la concentración de hidrógeno, las bacterias que lo producen pueden crecer.

Asimismo, el crecimiento de metanogénicas que consumen hidrógeno está obligatoriamente ligado al crecimiento de las bacterias productoras de hidrógeno porque son éstas las que les proporcionan el sustrato necesario para su crecimiento.

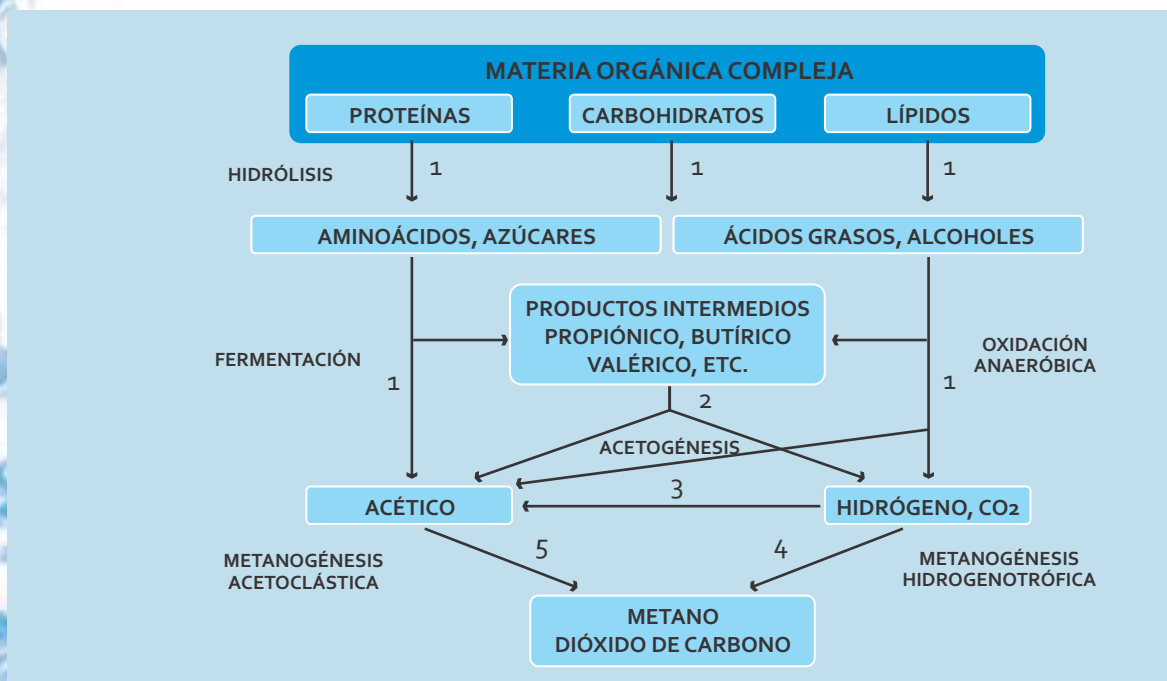
Esta relación entre los dos grupos de microorganismos se denomina de obligada sinergia.

El descubrimiento de estas bacterias puso en evidencia el proceso de transferencia de interespecies de hidrógeno.



En competencia con las bacterias metanogénicas existe otro grupo de bacterias, denominadas sulfatoreductoras que también son capaces de consumir ácidos grasos volátiles e hidrógeno (H_2) en presencia de sulfato.

Las bacterias sulfatoreductoras son consideradas anaerobias estrictas, aunque existen algunas especies que poseen mecanismos de protección eficientes y son capaces de sobrevivir y mantener su actividad metabólica en ambientes regularmente afectados por O_2 . Suelen ser dominantes en ecosistemas naturales tales como sedimentos marinos y de agua dulce y también en digestores anaerobios en los que la metanogénesis se ve inhibida por la presencia de sulfato.



Los números indican la población bacteriana responsable del proceso: 1: bacterias fermentativas; 2: bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas.

Fuente: Manual del Biogás (FAO): Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991.

Los factores determinantes de la producción de biogás son:

- **Temperatura:** Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilos (por debajo de $25^{\circ}C$), mesófilos (entre 25 y $45^{\circ}C$) y termófilos (entre 45 y $65^{\circ}C$).

Como se comentó anteriormente, el trabajar a temperaturas más elevadas permite utilizar tiempos de retención menores además de una mayor producción de metano. Sin embargo, por razones prácticas, los digestores funcionan dentro del tramo mesofílico con una temperatura próxima a los $35^{\circ}C$, ya que esta temperatura combina las mejores condiciones de crecimiento de las bacterias con la mayor velocidad de producción de metano.



En el termofílico se elimina un mayor número de agentes patógenos pero algunas sustancias comienzan a comportarse como inhibidores a esas temperaturas.

■ **PH:** Las bacterias metanogénicas son muy sensibles a las variaciones de pH.

Por otro lado, los microorganismos fermentativos son menos sensibles a cambios en el pH y pueden funcionar en un amplio rango de pH entre 4 y 8,5 siendo el pH óptimo para la acidogénesis entre 5,5 y 6,5.

Valores del pH fuera del intervalo 6-8 hacen el proceso inviable debido a la elevada toxicidad de las formas no ionizadas de los ácidos volátiles.

Asimismo, los valores de pH bajos reducen la actividad de los microorganismos metanogénicos provocando la acumulación de ácido acético e H_2 . Por el contrario, al aumentar el pH se favorece la formación de amoníaco que, en elevadas concentraciones, es inhibidor del crecimiento microbiano.

La variación en la temperatura produce un incremento de los ácidos grasos volátiles y pH lo cual genera una digestión desequilibrada que incide directamente en la actividad metanogénica, razón por la cual la tasa de producción de metano se reduce en el 72 % con respecto a la dinámica mostrada antes de la variación de temperatura.

Esto se debe a un desarrollo inestable del proceso, lo cual genera acumulación de compuestos intermedios inhibidores, o acumulación de los ácidos grasos volátiles que hacen la reacción más lenta y disminuye significativamente la actividad metanogénica.

■ **Alcalinidad:** La estabilidad del proceso depende de la capacidad tampón del contenido del digestor, la que viene dada por su alcalinidad.

Los valores normales de la alcalinidad en el interior del digestor varían entre 1500 y 5000 mg/l como $CaCO_3$, siendo el intervalo óptimo 2000-2500 mg/l.

Cuanto mayor es la alcalinidad, mayor es la capacidad para resistir cambios en el pH. El proceso de fermentación provoca una reducción de la alcalinidad, y el de metanogénesis su incremento.

■ **Relación Carbono/Nitrógeno:** Se debe mantener una relación C/N adecuada para evitar la acumulación de amonio que conduciría a la inhibición del proceso.

La relación C/N ideal es 30/1. Cuando la relación es muy estrecha (10/1) hay pérdidas de nitrógeno asimilable, lo cual reduce la calidad del material digerido. Si la relación es muy amplia (40/1) se inhibe el crecimiento de las bacterias debido a falta de nitrógeno.

■ **Tiempo de retención:** Se recomienda mantener el tiempo de retención en un valor alrededor de dos veces mayor que el tiempo necesario para el crecimiento de los microorganismos más lentos, es decir, los metanogénicos.

Sin embargo, el tiempo de retención puede cambiar de un día a otro con el



cambio del alimento, o de estación a estación, por el cambio de las temperaturas (en caso de que la temperatura no esté controlada). Por lo tanto, su valor óptimo varía según la tecnología, los detalles del proceso, temperatura, y composición del residuo

- **Contenido en humedad:** El alto contenido de humedad facilita, normalmente, la digestión anaerobia debido a que las cantidades de agua pueden afectar al rendimiento del proceso, disolviendo la materia orgánica fácilmente degradable.
- **Velocidad de carga orgánica:** La producción de biogás es altamente dependiente de la velocidad de carga orgánica. Al aumentar la velocidad de carga orgánica, aumenta la población de bacterias acidogénicas que producen ácidos y se multiplican rápidamente. Sin embargo, las metanogénicas crecen más lentamente que las bacterias acidogénicas y necesitan más tiempo para aumentar su población y podrían no ser capaces de consumir todos los ácidos producidos por las acidogénicas al mismo ritmo.

Esto conduciría a una caída del pH y, por lo tanto, a una inhibición de las metanogénicas.

- **Sustancias tóxicas e inhibidoras:** Estas sustancias pueden formar parte de las materias primas que entran al digestor o pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos.

Sustancias tales como amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro y fenoles, forman parte del primer grupo, en tanto que, sulfuro, amoníaco y ácidos grasos de cadena larga, forman parte del último grupo mencionado.

Construcción y detalles de carga de un Biodigestor

Debemos considerar que un biodigestor es un contenedor herméticamente cerrado donde tiene lugar la conversión de biomasa en biogás.

Este proceso, llamado digestión anaeróbica, es llevado a cabo por un grupo de microorganismos especializados que, en ausencia de oxígeno, transforman la fracción biodegradable de la materia orgánica en una mezcla de gases denominada biogás y un lodo compuesto por agua y sólidos, conteniendo nutrientes, microorganismos y elementos de difícil degradación.

El Biodigestor se compone de un tanque de la capacidad adecuada a la cantidad de biomasa a utilizar periódicamente. Consta de un conducto de carga, en la base una descarga mediante llave de paso y una descarga por desborde, por último, en la parte superior una manivela con un agitador en material de acero y finalmente una salida de gas con llave de paso.



A la salida de gas, después de la llave de paso, se instala un filtro para la captura del ácido sulfhídrico, a continuación, una trampa de agua construida con un recipiente donde ingresa la cañería y se deposita el agua que contiene el gas. En el otro extremo de la trampa continúa la cañería, de este modo ya podemos conectar al artefacto a utilizar.

Para el almacenamiento del gas, se continúa la cañería hasta una Campana Gasométrica que consta de dos tanques, en el caso que el Biodigestor por ejemplo de 1000 litros, se considerará un tanque de 1000 litros y se llenará con un 75% de agua y un tanque de 800 litros.

Se instala invertido en el interior, el gas se almacenará en la campana y el agua actuará como sello para que no se produzcan fugas. Por último, en la parte superior de la campana se colocará un soporte, a modo de tope, para que cuando cargue al máximo, evite seguir subiendo.

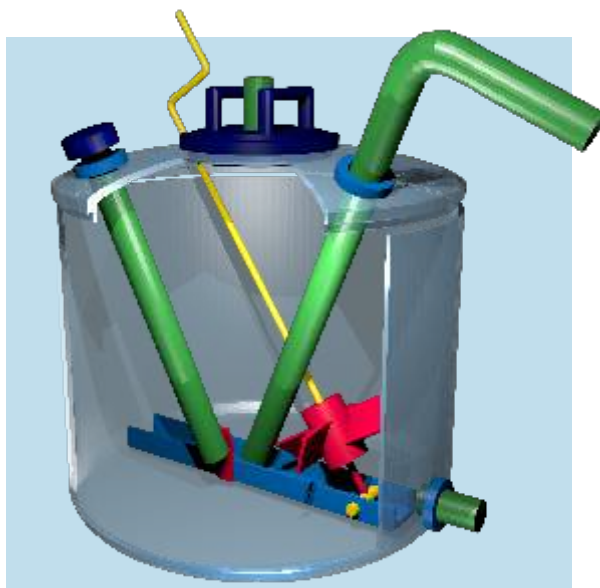
Se denominan a los diferentes compuestos del biodigestor como:

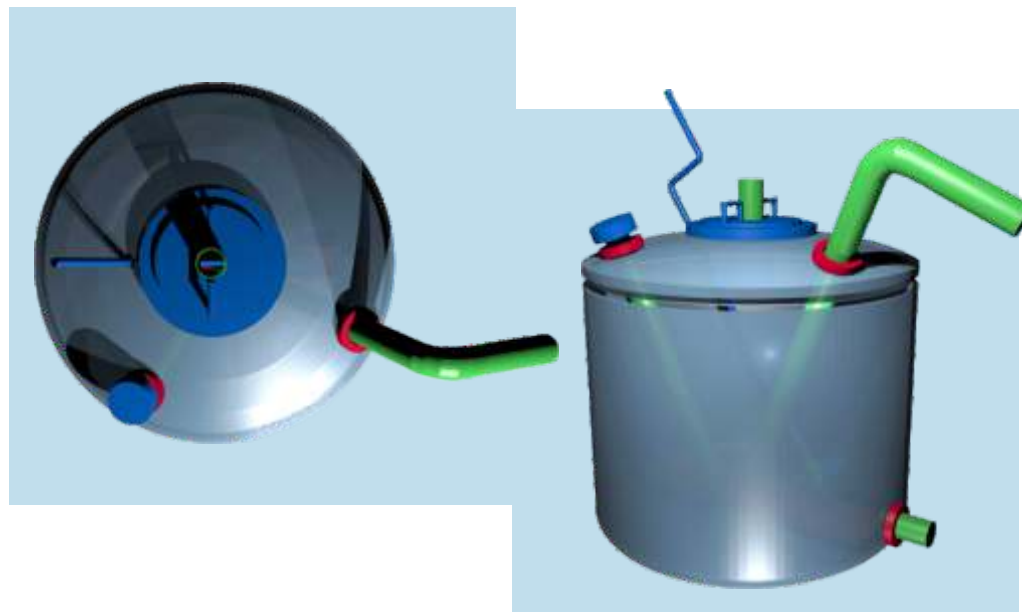
- **Reactor:** es el dispositivo principal donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica, en condiciones controladas.

Su forma es variable (cilíndrica, cúbica, rectangular) y puede estar construido en diferentes materiales (concreto resistente a la acidez, geomembranas de polietileno de alta densidad, tanques de acero inoxidable, entre otros.)

Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, para impedir el escape de olores, conservar la temperatura y recoger el gas producido.

- **Sistema de carga:** El ingreso del sustrato depende de la tecnología del biodigestor utilizado, tipo de sustrato y sus condiciones. En ciertos casos, los sistemas requieren de retratamientos y acondicionamiento del sustrato.
- **Sistema de gas.** Se encarga de la colección, traslado y acondicionamiento del biogás hasta los puntos de consumo, los que pueden estar preparados para transformar el biogás mediante un generador de electricidad (motor de combustión interna o turbina), caldera para la producción de vapor u otras aplicaciones térmicas, o a nivel de uso familiar, para consumo propio.
- **Salida del biodigerido.** Las tuberías de extracción permiten que la mezcla estabilizada salga del digestor para ser tratada y utilizada de manera adecuada como biofertilizante.





Para la planificación de la construcción de un biodigestor de tipo familiar, deben considerarse los factores económicos y socio culturales y de acceso a tecnologías:

- Sostenibilidad económica de las actividades que se desarrollen, tanto para su desarrollo como para la capacidad de mantenimiento en el tiempo y de adquisición de la tecnología.
- Capacidad de uso, depósito e inclusión en el mercado del biofertilizante.
- Acceso al agua y a la biomasa, son los factores más limitantes del proyecto. Cuando la biomasa es de origen animal, debe garantizarse su permanencia en el sistema productivo, y que no impacten en ella los factores económicos o climáticos, ya que un traslado de los animales, dejaría sin biomasa para la carga del biodigestor.
- Generación de capacitaciones previas y durante el desarrollo del proyecto, ya que el biodigestor requiere de cargas continuas, mantenimientos, y manejos para su funcionamiento.
- Seguridad respecto al armado y mantenimiento de la estructura del biodigestor, requiere de gasista matriculado, con especialización en biodigestores, para la certificación de las condiciones operativas del mismo.
- Ubicación de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar.
- Construir una platea con la superficie adecuada para la instalación del Biodigestor y la Campana Gasométrica.

Tiempo de Retención: se denomina así al tiempo que requieren las bacterias para digerir la materia orgánica y producir biogás

Tiempo de retención y Temperatura están asociados en la producción del biogás. A mayor temperatura, menor tiempo de retención



Ejemplo de Tiempo de Retención para materia fecal de ganado bovino.

Tiempo de retención hidráulico	Características
30 - 40 días	Clima tropical con regiones planas. Ej. Indonesia, Venezuela, América Central.
40 - 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopía.
60 - 90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía.

Para el cálculo del mismo se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Vol. digester} = T \text{ de retención (día)} \times \text{Vol. de carga} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}} \right)$$

Debe poder estimarse la biomasa que se utilizara. Para ello, en el caso de sistemas productivos familiares, deberá estimarse la cantidad de materia fecal que genera la población animal.

Producción de materia fecal diaria cada 100 Kg de peso vivo.

PRODUCCIÓN DE MATERIA FECAL DIARIA					
 porcino 4 kg	 bovino 8 kg	 caprino 4 kg	 conejo 3 kg	 equino 7 kg	 hombre 0.4 kg

Fuente: Martí Herrero 2008 Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación (2008) September 2015 DOI: 10.13140/RG.2.1.1048.6242
Publisher: GIZProject: Anaerobic digestion, tubular digester, biogas, low cost technology.

La mezcla de carga diaria en relación con los kilos de materia fecal que se carga en el biodigestor es una relación aproximada de 1:5 de estiércol / agua.

Si la relación entre el agua y la biomasa cargada es correcta se estimará que el volumen total del Biodigestor durante la fase líquida ocupa el 78% mientras que en la gaseosa el 25%.



Aplicación del cálculo

Volumen del Biodigestor:

2 vacas de 350 Kg c/u

Un bovino produce 8 Kg cada 100 Kg de peso, entonces
se obtienen 28 Kg materia fecal/día animal.

En total 56 Kg materia fecal/día.

Supongamos que sólo están estabuladas por la noche,
entonces: 14 Kg de materia fecal/día.

Teniendo en cuenta: relación M.O/agua = 1/5

Volumen de carga diaria: 70 L/día

Aplicación del cálculo: Volumen del Biodigestor:

Suponiendo una temperatura ambiente promedio de 20 °C,
el tiempo de retención de 40 días.

$$\text{Vol. digestor} = T \text{ de retención (día)} \times \text{Vol. de carga} \left(\frac{\text{L}}{\text{día}} \right)$$

$$\text{Vol. digestor} = 40 \text{ (día)} \times 70 \left(\frac{\text{L}}{\text{día}} \right) = 2.800 \text{ L}$$

Diferentes tipos de sustratos

Sustrato	Masa seca/ sólidos totales (%)	Sólidos volátiles (%)	Sustrato	M³ Biogas/Tn SV	% CH ₄
- Cama de pollo	55	71,5	- Cama de pollo	350	60
- Estiércol de vaca líquido	7,5	78,5	- Estiércol de vaca líquido	350	60
- Estiércol de porcino (carne) líquido	1	80,5	- Estiércol de porcino (carne) líquido	500	65
- Estiércol líquido de chanchas madres	3	77,5	- Estiércol líquido de chanchas madres	400	65
- Ensilado remolacha azucarera	16	75	- Ensilado remolacha azucarera	716	51
- Maíz ensilado (lechoso) alta calidad	23	94,5	- Maíz ensilado (lechoso) alta calidad	590	52
- RSU (fracción orgánica)	50	60	- RSU (fracción orgánica)	370	61

Producción de Biogás estimada dependiendo la Biomasa

Fuente: Fundación Energizar / Grupo IFES

EJEMPLO ANTERIOR (Bovino estabulado noche)

14kg materia fecal disponible/día + 56 L H₂O

El 7-7,5% es **sólido total** (7% de 70 kg = 5 kg)

El 78-80% de esos 5 kg son **sólidos volátiles** (4 kg)

Esos SV pueden generar 350 m³ biogás/Tn

En 1.000 kg => 350 m³, entonces 4 kg de SV/día = **1,40 m³ de biogás/día**
= **1.400 L biogás/día**

1.400 L biogás/día, son suficientes para **4 - 5 h de cocina**

(Martí Herrero)



- Actualización de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales a 2005.
www.fao.org/forestry/fra2005
- Bioeconomía Argentina. Visión desde Agroindustria. Ministerio de agroindustria. Presidencia de la Nación- 2017.
<https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/bioeconomia/archivos/000000Bioeconomia%20Argentina.pdf>
- Biogás como Fuente de Energía a partir de Residuos Orgánicos Domiciliarios utilizando un Biodigestor Piloto tipo Hindú modificado en la Universidad Nacional de Córdoba Daniel Stobbia, Beatriz Viera Fernández, Griselda Eimer, Alicia Ledesma Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Avda. Valparaíso s/nº, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina. Centro de Investigación y Tecnología Química, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba.
- Biomasa. Blog Carlos Revilla, de la UNEFM: "Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda"
<http://biomasamiguelpmeza.blogspot.com/p/historia-de-la-biomasa.html>
- Bosques y energía. Cuestiones clave. ESTUDIO FAO: MONTES 154. 2008
<http://www.fao.org/3/i0139s/i0139s.pdf>
- Caracterización del poder calorífico de la biomasa residual de cacao CCN51 mediante procesos de gasificación anaeróbico y termoquímico. Characterization of the Calorific Power of the Residual Biomass of Cacao CCN51 through Anaerobic and Thermochemical Gasification Processes
- Carlos Augusto Carvajal-Paúl Michael Tafur-Escanta - Ángelo Homero Villavicencio-Poveda
- Eduardo Roberto Gutiérrez-Gualotuña Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE", Ecuador. Científica, vol. 22, núm. 2, 2018
- Instituto Politécnico Nacional
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458109004/html/index.html>
- Características del biol Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG) FAO. 2019
<http://www.probiomasa.gob.ar/pdf/GuideBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf>
- Biodigestores- Monografía Iván Corona Zuñiga. Univ. Autónoma del Estado de Hidalgo- 2008 <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Biodigestores.pdf>.
<https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10722/Biodigestores.pdf?sequence=1>
- Cerón-Vivas, A., Cáceres, T., Rincón, A., Cajigas, A.; 2019; Influence of pH and the C/N ratio on the biogas production of wastewater; Rev.fac.ing.univ. 092 FAO, 2011, Manual del Biogás
Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico. CAMMESA
- Definition of general specifications for micro-anaerobic digestion in a concept of decentralised management of urban biowaste



DECISIVE A DE Centralised management Scheme for Innovative Valorisation of urban biowaste Deliverable Information Dissemination: Public Nature : Report

Contractual Delivery Date : 28/02/2017

Actual Delivery Date: 20/03/2017

Scientific coordinator: Dr. A.Trémier IRSTEA Rennes, France

Deliverable 4.1

- Diseño y monitoreo en tiempo real de un biodigestor, aplicado a las condiciones ambientales de Hermosillo Design and monitoring in real time of a biodigester, applied to the environmental conditions of Hermosillo MONTIJO-VALENZUELA, Eliel Eduardo†*, RAMÍREZ-TORRES, Flor, RIVERA-LANDEVERDE, Rodolfo Ulises y RAMÍREZ-CORONEL, Fernando Joaquín Instituto Tecnológico de Hermosillo / Tecnológico Nacional de México, Departamento de Metal Mecánica Revista de Ingeniería Innovativa Marzo 2019 Vol.3 No.9 19-33
https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Innovativa/vol3num9/Revista_de_Ingenieria_Innovativa_V3_N9_3.pdf
- El trabajo de la FAO sobre el cambio climático Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático 2017
<http://www.fao.org/3/a-i8037s.pdf>
- Energías Renovables 2008. Energía Biomasa. Secretaría de Energía Desarrollado por: Coordinación de Energías Renovables Dirección Nacional de Promoción. Subsecretaría de Energía Eléctrica
http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_biomasa.pdf
- Estudio sobre el Valor Fertilizante de los Productos del Proceso "Fermentación Anaeróbica" para Producción de Biogás Realizado por: German Prof EC GmbH German Prof EC-Perú SAC Autor: Sandra Aparcana Robles Co-Autor: Andreas Jansen Reporte No.: BM-4-00-1108-1239 Fecha: 01.12.2008
- Evaluación de biofertilizante líquido y sólido como residuos energéticos provenientes de la biomasa degradada por biodigestión en la producción de plantines hortícolas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias - Córdoba – Argentina Stobbia, Dra., Viera Fernández B.a, Dutto J.a, Ledesma, A. aa. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias., Córdoba, Argentina. * dstobbia@hotmail.com
- Efecto de la Temperatura en la Producción de Biogás en un Bioreactor tipo Batch a través de la Descomposición Anaeróbica de Residuos Sólidos Orgánicos. Martínez, S., Numpaque, H., Alvarado, J.; 2014; ENGI Revista Electrónica De La Facultad De Ingeniería. 3 (1)
- Evaluación de biofertilizante líquido y sólido como residuos energéticos provenientes de la biomasa degradada por biodigestión en la producción de plantines hortícolas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias - Córdoba –



Argentina Stobbia, D.A , Viera Fernández B.A , Dutto J. A , Ledesma A.
Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

EL TRABAJO DE LA FAO SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Conferencia de las

- Naciones Unidas sobre el cambio climático 2017

<http://www.fao.org/3/a-i8037s.pdf>

FAO, Manual de Biogás. Santiago de Chile: Organización de las Naciones

- Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 315p. (2011)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

María Teresa Varnero Moreno Organización: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)

Otras organizaciones: Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Global Environment Facility (GEF)

Año: 2011 ISBN: 978-95-306892-0

País(es): Chile

Fundación Energizar / Grupo IFES

- Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores.
- Soria Fregoso et al., 2001; Hilbert, J.A., 2010; Möller & Müller, 2012; Bernal Calderón et al., 2014) Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Buenos Aires, Argentina. 2019
http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf

Guía de tratamientos de deyecciones ganaderas; <http://www.arc-cat.net>

- I.N.T.A Castelar, Manual para la producción del Biogás IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía); 2007; Biomasa: Digestores anaerobios

Hodson de Jaramillo, Elizabeth (2018). Bioeconomía: el futuro sostenible.

- Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 42(164), 188-201. <https://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.650>

Huerga, I. (2016). Residuos Pecuarios. Actualidad de Normativas y

- Lineamientos Para Regulaciones Provinciales. Para Mejorar La Producción, 58, 257-262. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-oliveros.residuos-pecuarios.actualidad-normativas-y-lineamientos-regulaciones-provinciales.pdf>

International Renewable Energy Agency. IRENA

- <https://www.irena.org/bioenergy>
- IPCC, 2019: Resumen para responsables de políticas. En: El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las



tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres [P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H. O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley (eds.)].

- Manual de biogás. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos. Virginia García Páez. Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático.
- Martí Herrero 2008 Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación (2008) September 2015 DOI: 10.13140/RG.2.1.1048.6242 Publisher: GIZ Project: Anaerobic digestion, tubular digester, biogas, low cost technology
- Porcelli, Adriana Margarita; Martínez, Adriana Norma (2018). Análisis legislativo del paradigma de la economía circular. Revista Direito GV, 14(3), 1067-1105. <https://doi.org/10.1590/2317-6172201840>
- Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. October 2008 International Journal of Molecular Sciences 9(9):1621-51 DOI: 10.3390/ijms9091621
- Solé, F., & Flotats, X. (2004). Guía de técnicas de gestión ambiental de residuos agrarios (Proyecto T). Fundació Catalana de Cooperació. http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/6584/1/Gu?a_residuos_agrarios_ESP.pdf
- Sitio argentino de producción animal. Repositorio digital de acceso abierto biogás y otras energías alternativas <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/00-biodigestores.htm>
Traza compuestos de biogás de diferentes plantas de producción de biogás; Energía, 32 (8); 1375-1380 Taherzadeh, M., Karimi, K.; 2008; Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review; Int. J. Mol. Sci. 9 (9); 1621-1651
- Trace Compounds of Biogas from Different Biogas Production Plants August 2007 Energy 32(8):1375-1380 DOI: 10.1016/j.energy.2006.10.018
Uso como biofertilizante de digestato derivado de la generación de biogás. Marcos Bongiovanni. March 2018 Conference: XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo At: Argentina Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Valorización de digestato como sustrato para la producción de biopesticidas con *bacillus thuringiensis* mediante fermentación en estado sólido- Autores: Paula Rodríguez Serrano. programa H2020 de la Unión Europea (<http://www.decisive2020.eu/>) Universitat Autònoma de Barcelona (España) 2019.