



**Microorganismos:
Biofábricas productoras de
energía**

**Dr. Enrique Salgado Hernández
Dr. Sergio Martínez Hernández
Dr. Angel Isauro Ortiz Ceballos**
Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada
(INBIOTECA)
Universidad Veracruzana

Abstract

The microorganisms, from their ability to decompose organic matter to their capacity to transform it into various biofuels, could be defined as veritable "microscopic factories" generating bioenergy. They are important for replacing fossil-based compounds with bio-based chemicals and fuels that are crucial for the implementation of a sustainable bioeconomy.

Keywords: biofuels, biomass, organic matter, energy

Resumen

Los microorganismos, desde su capacidad de descomponer la materia orgánica, hasta su capacidad para transformarla en diversos biocombustibles, pueden ser considerados como auténticas "fábricas microscópicas" generadoras de bioenergía. Estos son importantes para remplazar los compuestos de origen fósil por productos químicos y combustibles de origen biológico cruciales para la implementación de una bioeconomía sostenible.

Palabras clave: biocombustibles, biomasa, materia orgánica, energía

Introducción

Los microorganismos que viven en diversos hábitats producen de forma natural una gran variedad de compuestos bioactivos que son usados para producir combustibles, fármacos y otros químicos importantes. El ser humano, a lo largo de la historia ha venido aprovechando las capacidades de los microorganismos para su propio beneficio. Por ejemplo, la fermentación mediante la acción microbiana fue utilizada desde hace miles de años por civilizaciones ancestrales para la producción de alimentos y bebidas fermentadas,

como el etanol. En la mayoría de los casos, los microorganismos procedían del medio ambiente y el papel que desempeñaban en la fermentación era desconocido. Louis Pasteur (1857), a través de varios experimentos demostró que la fermentación era producto de la actividad de microorganismos vivos; después, se desarrolló el uso de cultivos puros (un solo tipo de bacteria o levadura) que permitió un mayor control del proceso de fermentación (Buchholz and Collins, 2013). Estos descubrimientos establecieron las bases de la fermentación industrial y la generación de los primeros biocombustibles, como el bioetanol. En la década de 1860, Nikolaus August Otto fue el primero en utilizar el bioetanol en el transporte; cuatro décadas después, el Dr. Rudolf Diesel patentó el motor de encendido por compresión que utilizaba aceite de cacahuete como combustible. Este reemplazó a las máquinas de vapor, hasta que en la década de 1920 cuando los fabricantes de motores diésel se pasaron al gasóleo, un producto abundante, barato y menos viscoso. Además, se desarrollaron sistemas de inyección de combustible cada vez más sofisticados para hacer funcionar estos aceites derivados de combustibles fósiles.

Pronto los combustibles fósiles desplazaron al bioetanol como combustible. Sin embargo, el uso de combustibles fósiles ha aumentado con el tiempo, lo que ha provocado varias catástrofes de contaminación atmosférica. El incremento de los precios de los combustibles fósiles se acentuó considerablemente a principios del tercer milenio, y los biocombustibles empezaron a adquirir popularidad como consecuencia de la creciente concienciación mundial sobre la contaminación y el calentamiento

global, así como del deseo de autosuficiencia (Zabermawi y col. 2022). Por ello, no es de sorprenderse que los microorganismos resurjan como unos fieles aliados en la búsqueda de nuevas fuentes de energía más sostenibles. Los microbios son ingenieros diminutos que desempeñan un papel crucial en el reciclaje y el mantenimiento de la vida en la Tierra. Estos microorganismos producen, acumulan y secretan moléculas biológicamente activas como azúcares, lípidos, aminoácidos y fitohormonas que mantienen la viabilidad del suelo y el crecimiento de las plantas. Así, podemos aprovechar su potencial como verdaderas "Biofábricas microscópicas" en la producción de combustibles de nueva generación; bioetanol, biodiésel y biometano (Kumar y col. 2018).

Primero que todo, ¿qué es la energía?

La energía, es la capacidad de realizar un trabajo y se obtiene de diferentes fuentes; por ejemplo, la luz solar, el viento, el agua, la energía nuclear y los combustibles fósiles.

Los combustibles fósiles son ahora nuestra principal fuente de energía y contribuyen con el 78.9% del consumo de energía primaria (REN21, 2023). Los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) se consideran una fuente de energía no renovable, ya que no pueden regenerarse y eventualmente se acabarán. Además, la combustión, una reacción química en la que un combustible se combina con el oxígeno, genera agua y dióxido de carbono (CO_2); un gas de efecto invernadero.

Existen otras fuentes de energía conocidas como energías renovables que se obtienen a partir de

fuentes naturales que se regeneran rápidamente. Las energías renovables representan el 12.6% del consumo de energía primaria (REN21, 2023). Las fuentes de energía renovables (biomasa, solar, eólica, geotérmica e hidroeléctrica) que utilizan recursos autóctonos tienen el potencial de proporcionar servicios energéticos con emisiones cero o casi cero de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero (Goldemberg, 2021).

La biomasa es la materia orgánica de los seres vivos, sus excretas y sus restos no vivos, que se puede convertir en energía, denominada bioenergía. La bioenergía, es la energía que se obtiene tras la combustión de un biocombustible. Un biocombustible se define como combustible derivado directa o indirectamente de la biomasa. El uso de bioenergía no contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, dado que el balance global de las emisiones de CO_2 a la atmósfera es neutro. En contraste, el uso de combustibles fósiles liberan carbono a la atmósfera; carbono que ha estado fijo a la Tierra desde hace millones de años y no forma parte del ciclo de carbono (Figura 1).

¿De dónde proviene la bioenergía?

La bioenergía puede ser producida a partir de diferentes tipos de biomasa como árboles, cultivos agrícolas, residuos vegetales, residuos de animales y muchos otros materiales biológicos. La formación de biomasa se produce a partir de la energía solar, por lo tanto, los biocombustibles es energía proveniente de la luz solar (Figura 2); esto es, mediante la fotosíntesis, las plantas transforman el CO_2 del aire y el agua (sin valor energético) en materia orgánica con alto contenido energético.

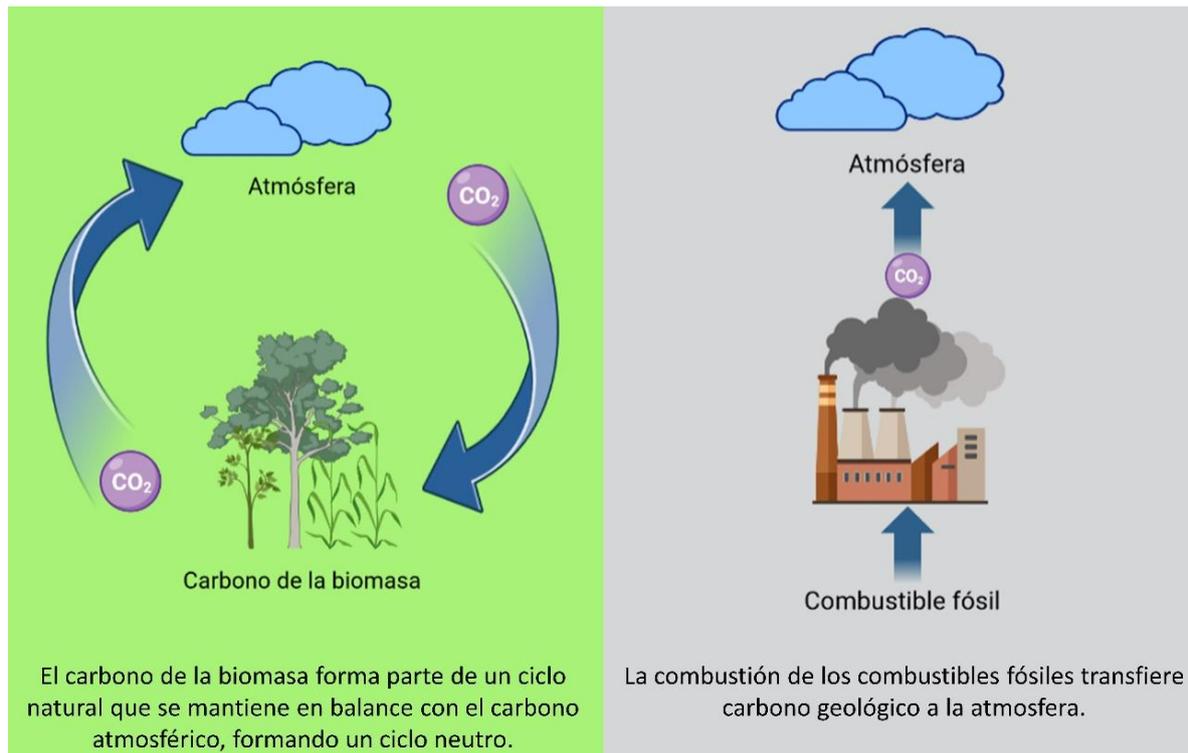


Figura 1: Ciclo neutro del carbono de la biomasa vs carbono transferido de las reservas geológicas.

La materia orgánica se compone de carbono, hidrógeno, oxígeno y en menor cantidad de nitrógeno y azufre (Kindberg, 2010) que al combinarse se forman moléculas complejas esenciales para la vida; proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos. Así, la biomasa almacena la energía en los enlaces químicos, conocida como energía química que se encuentra en los enlaces de los elementos que conforman la materia orgánica. Esta energía se puede liberar mediante la combustión. La energía liberada se utiliza para calentar agua, generar electricidad o impulsar motores, entre otros.

Existen diversas formas de convertir la biomasa en bioenergía. Sin embargo, en este artículo se destaca la conversión bioquímica mediada por la acción de microorganismos. La fermentación es un ejemplo clásico de la conversión bioquímica natural que usa bacterias, levaduras y otros microorganismos para producir azúcares y almidones de

cultivos (por ejemplo, la caña de azúcar y otros granos) en etanol (Zabermawi y col. 2022).

Una biofábrica microscópica

Cuando se habla de fábrica microscópica nos referimos a los microorganismos conocidos como “microbios”, organismos que no podemos ver a simple vista. Éstos pueden ser: bacterias, arqueas, protozoos, plantas microscópicas y hongos, que incluye a las levaduras. Todos ellos son unicelulares, es decir, que a diferencia de los seres humanos que tienen billones de células, ellos tienen solo una célula.

En su visualización más simple, una célula, ya sea un organismo unicelular o una célula de un organismo pluricelular, es una bolsa delimitada por una membrana, que contiene una solución acuosa en la que se encuentran todas las moléculas y estructuras necesarias para permitir su supervivencia continua. Dependiendo

del microbio, puede haber otras estructuras, por ejemplo, una pared celular que proporcione protección o soporte adicional, o un flagelo, una cola flexible, que proporcione movilidad en el entorno circundante. La supervivencia requiere el crecimiento celular, la replicación de su material genético y,

a continuación, la división, que suele repartir el contenido en dos células hijas iguales. En condiciones ideales de entorno y suministro de alimentos, la división de algunas bacterias puede producirse cada 20 minutos, mientras que mayoría tarda más.

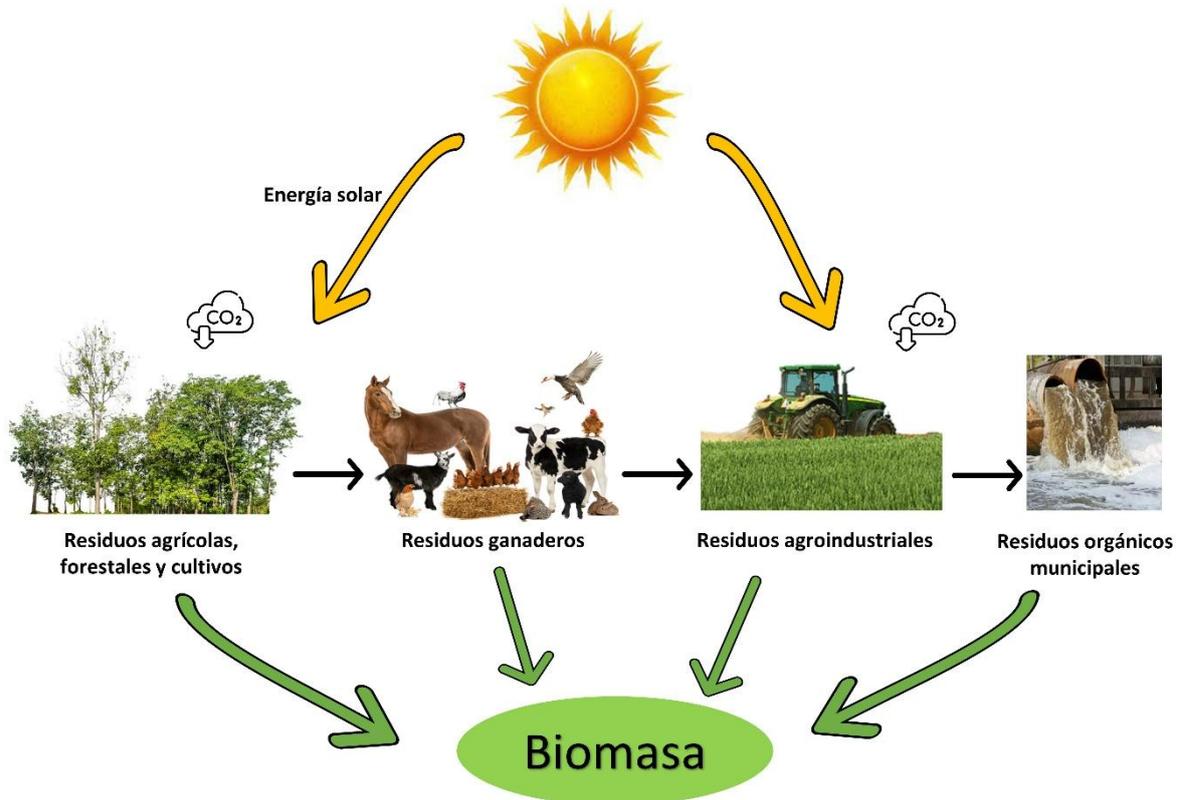


Figura 2: Formación de la fuente de biomasa para generar biocombustibles con el uso de microorganismos.

Los microorganismos, como todos los seres vivos requieren de energía para llevar a cabo todos sus procesos celulares. Esta energía la pueden obtener al alimentarse de compuestos orgánicos que pueden ser un carbohidrato, un lípido o, una proteína. Los compuestos orgánicos actúan como la “materia prima” de estas microfábricas. Dado que todas las moléculas biológicas contienen el elemento carbono, es necesario disponer de una fuente alimentaria de carbono.

Por lo tanto, los alimentos ingeridos son, como mínimo, una fuente de energía y carbono, cuya forma química se reorganiza al pasar por varias rutas denominadas vías metabólicas. Cada vía metabólica es como una cadena de montaje que realiza una serie de tareas específicas para transformar la materia prima en un producto final. En otras palabras, la forma química de las moléculas de la materia prima se reorganiza para producir todas las sustancias químicas necesarias

para el crecimiento, tras la adición o eliminación de otros elementos como hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre.

Como se mencionó, es necesario que la materia prima (alimento) entre a la célula microbiana que actúa como una “biofábrica” a nivel microscópico (Figura 3). En cada vía metabólica hay pequeños ayudantes llamados “enzimas”, que son como “obrerros” que hacen que la materia prima se transforme más rápido y fácilmente. Prácticamente su trabajo es acelerar o facilitar diferentes reacciones químicas en los organismos, sin ellas algunos

procesos llevarían mucho tiempo o incluso no sucederían. Sin embargo, cuando algunos compuestos de la materia prima son de gran tamaño deben ser transformada a compuestos más simples o de menor tamaño. Para esto algunos microorganismos secretan enzimas (enzimas extracelulares) que descomponen los compuestos complejos en otros más simples que puedan entrar a la célula microbiana. A medida que la materia prima se transforma, se generan productos finales o metabolitos que la célula excreta al medio externo o los almacena en su interior. Algunos de estos productos pueden ser de interés comercial, como los biocombustibles.

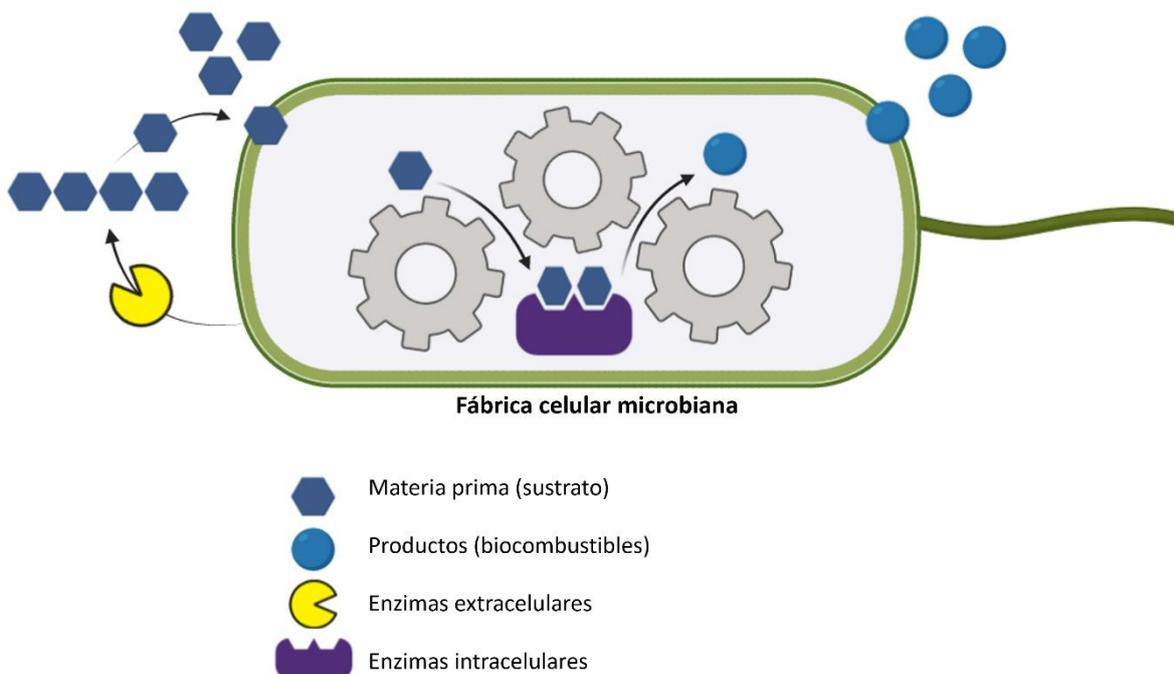


Figura 3: La célula microbiana como una fábrica microscópica.

Los microorganismos pueden cambiar o elegir rutas metabólicas dependiendo de su entorno y recursos disponibles. Esta versatilidad les permite adaptarse a diferentes entornos y aprovechar una variedad de fuentes de nutrientes para su crecimiento y supervivencia. Por lo tanto, pueden alimentarse de la materia

orgánica proveniente de diferentes procesos catalogados como residuos. Por ejemplo, residuos de plantas, animales y municipales, como las aguas residuales. Del mismo modo, si un compuesto considerado contaminante puede entrar en una vía metabólica, entonces puede convertirse en "materia prima" para

estas microfábricas. Gracias a estas características, los microorganismos pueden llevar a cabo la degradación una amplia gama de contaminantes (Evans and Furlong, 2011).

Biocombustibles microbianos

En la producción de biocombustibles se usan biorreactores, dispositivos donde se cultivan los microorganismos y se extraen sus productos finales (Figura 4); por ejemplo, moléculas combustibles, incluyendo aquellas utilizadas en el transporte y la generación de electricidad. La capacidad de producir ciertos productos o biocombustibles depende del tipo de microorganismo, su acceso a alimentos y su capacidad para procesarlos. Toda esta información o instrucciones están guardadas en el ácido desoxirribonucleico (ADN), que puede ser una estructura circular en

bacterias o lineal y estar dividida en cromosomas en animales y plantas. Las bacterias también tienen pequeñas piezas de ADN llamadas plásmidos, que son importantes en biotecnología ambiental porque pueden contener genes útiles para el humano. Los plásmidos pueden transferirse entre bacterias, permitiendo que la capacidad de procesar ciertos materiales se comparta fácilmente. Las bacterias son muy buenas para intercambiar su ADN (Evans and Furlong, 2011). Estas características les permiten a los microorganismos ocupar diversos nichos ecológicos, es decir, desempeñar diferentes funciones fundamentales en los ecosistemas y su aplicación en la biotecnología; por ejemplo, en la remoción de cierto contaminante y en la producción de un biocombustible específico.

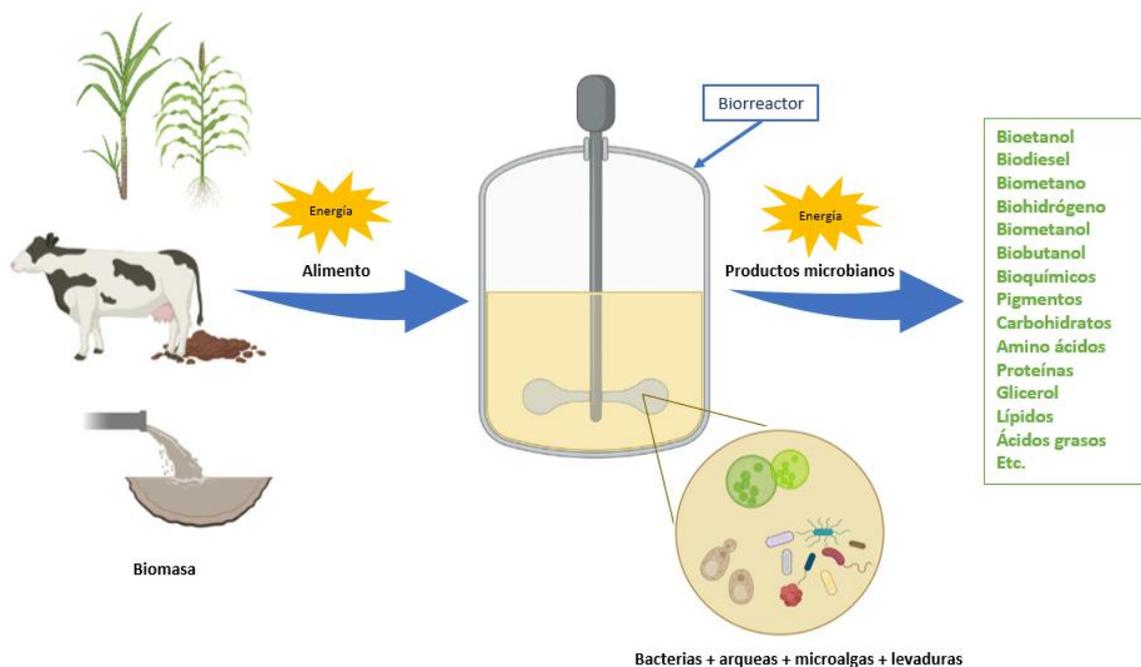


Figura 4: Esquema general de la producción de biocombustibles microbianos.

Algunos microorganismos, como las levaduras, son excelentes fermentadores que se han utilizado durante mucho tiempo para producir etanol a partir de biomasa. Por otro lado, microorganismos como las cianobacterias tienen la capacidad de acumular grandes cantidades de lípidos, útiles en la producción de biodiésel. Además, los microorganismos pueden liberar gases, como el hidrógeno, que podría ser una alternativa valiosa a los combustibles gaseosos convencionales como el gas natural. También, diversos microbios pueden utilizarse como pilas de combustible para producir electricidad, útiles para el desarrollo de baterías. Los electrones se producen durante la oxidación microbiana de diversos sustratos, que luego se transfieren a otros electrodos para producir electricidad (Kumar y col. 2018).

Avances recientes

Actualmente, la producción de biocombustibles mediante la bioconversión microbiana de la materia prima orgánica puede mejorarse mediante manipulaciones genéticas y metabólicas de los microorganismos. Anteriormente, las cepas microbianas para usos industriales se mejoraban a través de métodos de selección y mutagénesis aleatoria; sin embargo, son procesos poco controlados, lentos e impredecibles (Majidian y col. 2018). Algunos microorganismos pueden producir biocombustibles de forma natural, a menudo crecen lentamente, no soportan eficientemente sustancias tóxicas de los biocombustibles y no pueden usar completamente toda la biomasa. Por ejemplo, muchos no pueden usar la xilosa, un tipo de azúcar que conforma alrededor del 30% de las plantas. Usando técnicas avanzadas en biología e ingeniería, se logra que microorganismos como

Escherichia coli y *Saccharomyces cerevisiae*, produzcan combustibles a partir de todos los tipos de azúcares de las plantas. Estos microorganismos han sido utilizados en grandes fábricas por muchos años y se pueden modificar para que toleren sustancias tóxicas de biocombustibles y usen diferentes fuentes de carbono (Zhang *et al.* 2011). Por ejemplo, la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, genera el etanol a través de una vía metabólica más corta comparada con la bacteria *Escherichia coli*, que usa una vía más larga. Pero gracias a la ingeniería metabólica es posible modificar estas vías para hacer que los microorganismos produzcan un biocombustible de forma más eficiente. También, se ha logrado que microbios que normalmente no producen ciertos biocombustibles lo hagan, al introducir el material genético o enzimas necesarios de microorganismos que sí los producen; es decir, la ingeniería genética nos ayuda a crear microorganismos que pueden usar diferentes materias primas para producir biocombustibles (Kumar and Kumar, 2017).

Conclusiones

Los microorganismos se presentan como aliados valiosos en la búsqueda de fuentes de energía sostenibles, demostrando ser "fábricas microscópicas" capaces de transformar la biomasa en biocombustibles. Actualmente, las investigaciones científicas se centran en mejoras genéticas y metabólicas para optimizar la producción de biocombustibles y superar las limitaciones naturales de algunos microorganismos. En última instancia, la investigación y aplicación de microorganismos en la producción de biocombustibles representan una esperanzadora y prometedor ruta hacia la obtención de energía sostenible, contribuyendo a reducir la dependencia

de los combustibles fósiles y mitigar los impactos ambientales asociados. Sin embargo, la principal dificultad en la producción de biocombustibles a través de "fábricas microbianas radica en lograr generar una considerable cantidad de combustible con un costo más bajo y una eficiencia superior a los combustibles fósiles tradicionales.

Referencias

- [1] Buchholz, K. y Collins, J., The roots—a short history of industrial microbiology and biotechnology, *Applied microbiology and biotechnology*, [97], pp. 3747-3762, 2013.
- [2] Evans, G. G. y Furlong, J. *Environmental biotechnology: theory and application*. John Wiley & Sons. 2011, pp. 13-30.
- [3] Goldemberg, J., World energy assessment. Energy and the challenge of sustainability, United Nations, New York, 2001, pp. 14.
- [4] Kindberg, L. y Energy, N. F., An introduction to bioenergy: feedstocks, processes and products, *ATTRA*, pp. 1-12, 2010.
- [5] Kumar, A., Kaushal, S., Saraf, S. A. y Singh, J. S., Microbial bio-fuels: a solution to carbon emissions and energy crisis, *Frontiers in Bioscience-Landmark*, 23 [10], pp. 1789-1802, 2018.
- [6] Kumar, R. y Kumar, P., Future microbial applications for bioenergy production: a perspective, *Frontiers in microbiology*, 450 [8], pp. 1-4. 2017.
- [7] Majidian, P., Tabatabaei, M., Zeinolabedini, M., Naghshbandi, M. P. y Chisti, Y., Metabolic engineering of microorganisms for biofuel production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [82], pp. 3863-3885, 2018.
- [8] REN21. Renewables 2023 Global Status Report. 2023. Consultado en enero 2024: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2023_GlobalOverview_Full_Report_with_endnotes_web.pdf
- [9] Zabermawi, N. M., Alsulaimany, F. A., El-Saadony, M. T. y El-Tarabily, K. A., New eco-friendly trends to produce biofuel and bioenergy from microorganisms: An updated review, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2022.