

Concientifica



Biocombustibles: clasificación y situación nacional

Biofuels: classification and national situation

Pierre-Louis Gorry¹

Jessica Josefina Hurtado-Rios²

Hypatia Arano Varela^{1*}

¹Departamento de Ciencias de la Salud, CBS, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma, Estado de México, México.

²Departamento de Ciencias de la alimentación, CBS, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma, Estado de México, México.

*Autor para la correspondencia:
h.arano@correo.ler.uam.mx

Resumen

La demanda creciente de combustibles y sus efectos ambientales han impulsado el desarrollo de biocombustibles. Estos combustibles se derivan de fuentes orgánicas renovables y presentan un mejor balance de emisión de dióxido de carbono en comparación con los combustibles fósiles. Se clasifican en generaciones según su origen: cultivos alimentarios (1^a), residuos agrícolas y forestales (2^a) y microalgas (3^a). México tiene potencial para su producción, pero enfrenta una infraestructura deficiente y baja aceptación social. Para su desarrollo, se requieren inversiones, políticas públicas y avances tecnológicos, lo que fortalecería la seguridad energética y sería una alternativa útil para mitigar el cambio climático.

Palabras clave: Biocombustibles, gases de efecto invernadero, biomasa.

Summary

The increasing fuel demand and its environmental effects have driven the development of biofuels. These fuels are derived from renewable organic sources, and offer a better carbon dioxide emission balance compared to fossil fuels. They are classified into generations based on their origin: food crops (1st), agricultural and forestry residues (2nd), and microalgae (3rd). Mexico has potential for their production but faces barriers such as poor infrastructure and low social acceptance. Their development requires investment, public policies, and technological advancements, which would strengthen energy security and serve as a useful alternative to mitigate climate change.

Keywords: Biofuels, greenhouse gases, biomass.

Introducción

La demanda global de combustibles ha aumentado debido a múltiples factores como el crecimiento demográfico, la urbanización e industrialización [1]. Actualmente, el petróleo junto con otros combustibles fósiles cubre aproximadamente el 80% de esa demanda, pero, se estima que en los próximos años su disponibilidad disminuirá. Por otro lado, el uso de combustibles derivados del petróleo representó en 2020, el 89% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) [1, 2]. Asimismo, las emisiones mundiales de CO₂ alcanzaron en 2023, la cifra récord de 37.4 mil millones. A pesar de los esfuerzos mundiales contra el cambio climático, del periodo de 2022 a 2023, hubo un incremento del 1.1% en las emisiones de este gas. Esta situación genera una preocupación a nivel mundial, llevándonos a cuestionar qué medidas deben adoptarse para frenar el calentamiento global. De hecho, entre los Objetivos

de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, se contempla para 2030, el acceso a una energía limpia y accesible.

En ese sentido, los biocombustibles emergen como una alternativa viable debido a su origen renovable, biodegradabilidad y eficiencia, pueden ser utilizados en vehículos, como fuente de energía y/o de calor o bien para uso industrial [2]. En la Figura 1, se muestra una estimación de la demanda cubierta por fuentes renovables (incluyendo la biomasa) hasta el año 2050. Es probable que el incremento en su demanda se deba al aumento de la producción total de biocombustibles más que a la disminución en términos reales del uso de energías fósiles.

Biocombustibles

A diferencia de los combustibles fósiles, los biocombustibles son fabricados a partir de fuentes orgánicas renovables como la biomasa (materia orgánica que puede ser utilizada como fuente de energía) y residuos orgánicos. Existen en forma gaseosa (biogás, biometano, H₂) y líquida (biodiesel, bioetanol) [3]. Representan una opción útil para disminuir la emisión de GEI, fortalecer la seguridad energética y promover

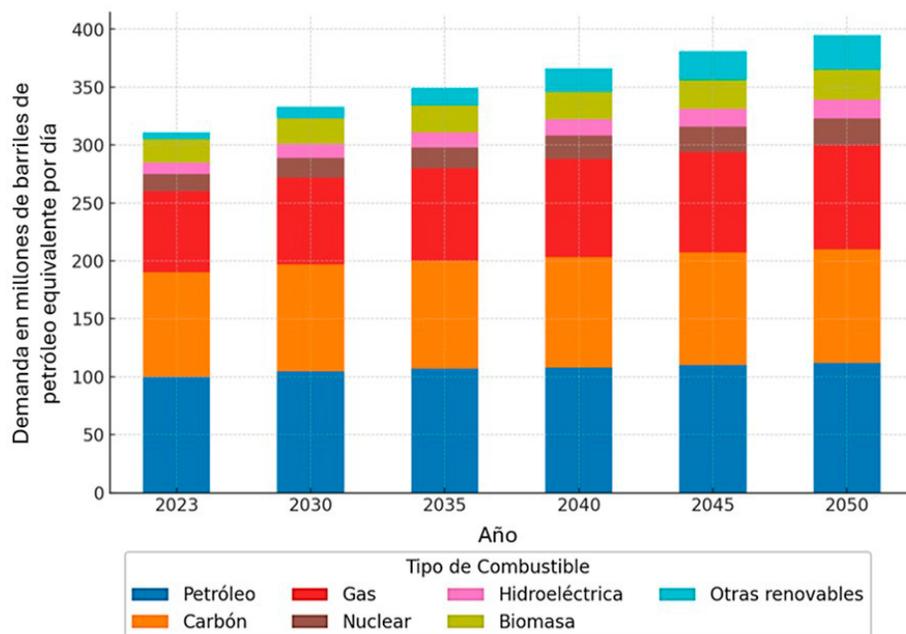


Figura 1. Demanda mundial de energía primaria en 2023, con proyección hasta 2050 por tipo de combustible. FUENTE: Statista, 2025 [12].

mejoría en la calidad de vida de las personas que habitan en zonas rurales [1, 3]. A continuación, en la Tabla 1 se presenta una comparación de las propiedades fisicoquímicas de algunos biocombustibles en relación con la gasolina [2].

Su ciclo de vida permite compensar emisiones de CO₂ mediante la captura realizada por las plantas durante su crecimiento. Algunos presentan menor toxicidad y facilidad de almacenamiento y transporte, mejorando su seguridad, aunque mantienen la inflamabilidad requerida para su uso como fuente energética [3]. A nivel global su consumo va en aumento

Tabla 1. Comparación de las propiedades fisicoquímicas de algunos biocombustibles. FUENTE: Cavalius et al. (2023) [2].

	Biogás	Bioetanol	Biobutanol	Biodiesel	Gasolina
Número de átomos de carbono	1	2	4	12-20	4-12
Densidad [Kg L⁻¹]	0.00115	0.79	0.81	0.88	0.74
Viscosidad a 20 °C [mm² s⁻¹]	-	0.5	3.3	5.1-7.5	0.6
Número de octano	-	>100	87	-	92
Número de cetano	-	8	17	56	15-20
Poder calorífico inferior [MJ Kg⁻¹]	23.3	27	36	37	43.9
Poder calorífico [MJ L⁻¹]	0.016-0.028	21.06	29	32.65	32.48
Punto de inflamación [°C]	-	13	35	160/120	<21
Equivalencia de combustible [L]	-	0.65	-	0.91	1

como se muestra en la Figura 2. El proceso de producción de biocombustibles depende del tipo de materia prima utilizada, usualmente se clasifican como de 1^a, 2^a y 3^a generación.

Biocombustibles de 1^a generación

Son aquellos derivados de cultivos alimentarios ricos en azúcares, almidones y aceites. A continuación, se enlistan algunos ejemplos [2, 4]:

- 1. Alcoholes biológicos:** como bioetanol, biopropanol y biobutanol, se producen mediante la fermentación de carbohidratos como celulosa, glucosa y almidones, previa hidrólisis enzimática con amilasas, celulasas y hemicelulasas. Microorganismos como *Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces stipites*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Zygomonas mobilis*, *Clostridium acetobutylicum* y *Escherichia coli* modificada genéticamente son empleados por su alta eficiencia en condiciones fermentativas específicas.
- 2. Biodiésel:** se obtiene mediante la transesterificación de triglicéridos, proceso que puede realizarse con catalizadores ácidos, básicos o enzimáticos (aún en fase experimental), tanto en fase homogénea como heterogénea. En fase homogénea, el catalizador se disuelve completamente en la mezcla reactiva, mientras que en fase heterogénea se encuentra en una fase distinta, facilitando su recuperación. Los catalizadores básicos, como hidróxidos y alcoholatos, son los más empleados por su alta eficiencia y bajo costo, aunque resultan poco adecuados para materias primas con altos niveles de ácidos grasos libres. En contraste, los catalizadores ácidos permiten procesar este tipo de materias primas, y los enzimáticos, aunque más costosos, ofrecen ventajas ambientales al generar menos subproductos contaminantes. Como coproducto del proceso, se genera glicerina, un compuesto de valor agregado con aplicaciones industriales y

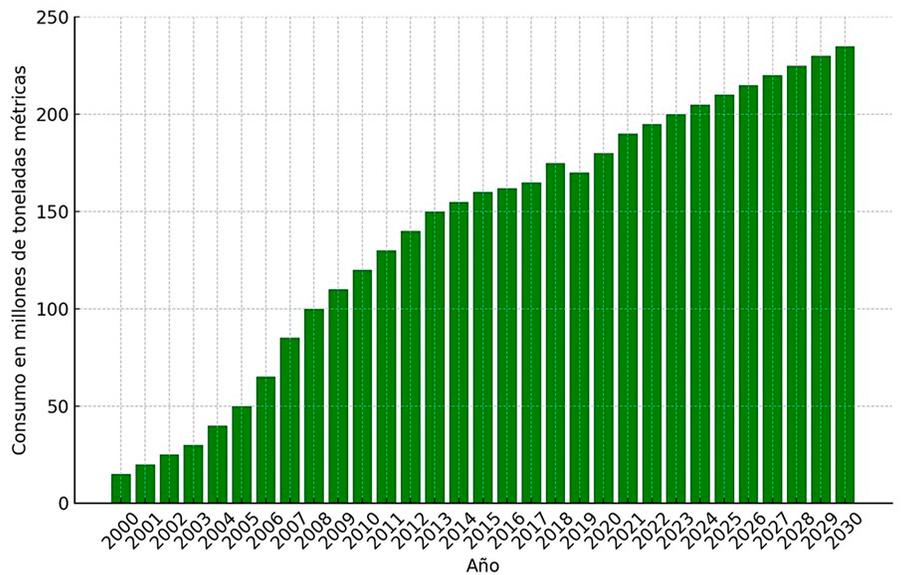


Figura 2. Consumo mundial de biocombustibles de 2000 a 2023, con una proyección hasta 2030. FUENTE: Statista, 2025 [12].

biotecnológicas, especialmente como sustrato en cultivos microbianos.

- 3. Biogás:** es una mezcla gaseosa generada por digestión anaeróbica de materia orgánica, compuesta principalmente por CH₄ (~60%) y CO₂ (~35%), junto con trazas de H₂, N₂, CO, NH₃, O₂ y aminas volátiles (~5%). Su producción depende de parámetros como el tipo de sustrato, temperatura y tiempo de retención hidráulica, que varía entre 15–30 días en condiciones mesofílicas (30–40 °C) y 10–15 días en condiciones termofílicas (50–60 °C), siendo mayores para sustratos lignocelulósicos (estiércol de vaca o residuos agrícolas). El subproducto líquido, conocido como biol, posee valor agronómico por su contenido de N, P y K, y puede ser reutilizado como fertilizante, favoreciendo la sostenibilidad agrícola y el aprovechamiento integral de residuos.

Biocombustibles de 2^a generación

Son combustibles obtenidos a partir de la transformación bioquímica de materiales lignocelulósicos, que usualmente no son destinados para el consumo humano, incluye residuos agrícolas: hojas, vainas de semillas, tallos, paja, cáscaras, hierbas y malezas, residuos forestales; restos orgánicos de los basureros municipales, otras fuentes incluyen pastos, forrajes y bosques de corta rotación [1, 5]. Estos ma-

teriales son recursos bastos, disponibles y de fácil descomposición [1]. La adecuada gestión de esos recursos podría, por un lado, asegurar su uso óptimo y por otro, contribuir al cambio climático y a prevenir el deterioro del suelo al disminuir su incineración; adicionalmente se fortalecerían las prácticas sostenibles en la agricultura [1].

El sector agrícola es la principal fuente de biomasa lignocelulósica que es la materia prima más abundante en la Tierra, pero también un recurso subutilizado que podría aprovecharse para la producción de bioetanol y biogás. Desechos como tallos, hojas, cáscaras, paja, mazorcas de maíz, bagazo de caña de azúcar consisten principalmente en celulosa, hemicelulosa y lignina, polisacáridos que pueden ser transformados en etanol [1].

La producción de este tipo de biocombustibles involucra: *i*) pretratamiento de deslignificación, *ii*) sacarificación enzimática o hidrólisis de celulosa y hemicelulosa para producir azúcares fermentables y *iii*) fermentación de azúcares reductores [1, 5].

Biocombustibles de 3ª generación

Son obtenidos a partir de biomasa de microalgas. El término “microalgas” agrupa microorganismos fotosintéticos tanto eucariontes como procariontes, es decir, que hay tanto bacterias fotosintéticas como las cianobacterias, así como otros microorganismos eucariontes como algas, por mencionar algunos géneros: *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Arthrospira*, *Desertifilum*, *Nannochloropsis*, *Dunaliella* [6, 7].

Es posible encontrar microalgas en cualquier tipo de cuerpos de agua dulce y hasta en suelos lo cual permite desarrollar bioprocesos específicos a cada lugar; fijan alrededor del 50% del CO₂ ambiental y por lo tanto producen el 50% del oxígeno [6]. Para su cultivo, se necesita CO₂, luz y un medio acuoso que contiene sales minerales y/o nutrientes orgánicos dependiendo de la cepa. La cosecha se realiza principalmente por centrifugación, filtración, sedimentación o floculación. Luego, la biomasa

se puede usar húmeda o bien se puede secar o liofilizar [7]. Dependiendo del producto y de la aplicación, se puede requerir condiciones axénicas de cultivo, sin embargo, a escala industrial no es factible cultivar en esas condiciones. A diferencia de las plantas, no requieren grandes extensiones de tierra fértil (Figura 3); además, por la misma superficie ocupada, los rendimientos son mayores, con productividades de biomasa entre 10 hasta 300 veces más [7, 8]. En efecto son capaces de acumular hasta un 68% de lípidos en condiciones de limitación de nitrógeno. Actualmente la investigación ha girado en torno a cepas de agua dulce debido a su mayor comodidad de cultivo en zonas alejadas de agua de mar. Las microalgas se cultivan en fotobiorreactores, los cuales se clasifican como abiertos y cerrados. Los abiertos son de bajo costo, pero de baja productividad y con mayor exposición a contaminaciones; en cambio, los cerrados (como el que se muestra en la Figura 3) tienen mayor productividad por volumen de operación, requieren una superficie menor a los abiertos, facilitan la remoción de contaminantes gaseosos y no se contaminan tan fácilmente, sin embargo, requieren altos costos de inversión y operación [6].

A partir de sus metabolitos pueden producirse diferentes biocombustibles: con los carbohidratos bioetanol y biogás mediante fermentación alcohólica y fermentación oscura respectivamente. Con los lípidos, es posible obtener todos los combustibles que se obtienen de la refinación del petróleo, como gasolina, diésel, queroseno y gas [7]. No obstante, debido a los costos involucrados, su producción masiva no es viable. Adicionalmente, las microalgas son útiles para el tratamiento de aguas residuales, es decir que, inicialmente esa agua puede ser utilizada como medio nutritivo y posteriormente, la biomasa generada puede ser transformada en diferentes biocombustibles y bioprecursores [8]. Lo anterior, por ejemplo, daría un valor agregado a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Hoy día, el tratamiento de aguas cuesta más de lo que genera en términos económicos, por lo que la producción de productos de valor agregado en una



Figura 3. Cultivo de *Chlorella sorokiniana* en fotobio reactor tubular de lazo con volumen de operación de 300L en la azotea de la UAM-Cuajimalpa, CDMX. Fotografía propia.

PTAR permitiría reducir su costo.

Biocombustibles en México: Desarrollo industrial e investigación

En 2022, la superficie de territorio mexicano con uso agropecuario y la superficie de aprovechamiento forestal sumaron 103.6 millones de hectáreas, de las cuales, 29.8 millones se destinaron a uso agrícola. Se obtuvieron 34.6 millones de toneladas de arroz, cebada grano, frijol, maíz grano amarillo, maíz grano blanco, sorgo grano y trigo grano [9]. Es decir que, México tiene un alto potencial para la producción de bioenergéticos de 1^a y 2^a generación.

En la actualidad, en el país ya se producen combustibles de 1^a, 2^a y 3^a generación, la ley de biocombustibles publicada en 2008 permite su producción siempre y cuando no se comprometa la producción de alimentos básicos ni se provoquen desequilibrios ecológicos ni sociales [10]. No obstante, su producción es escasa, su consumo bajo y limitado a actores puntuales. Adicionalmente, la tasa de aceptación de estos combustibles por la población es baja, especialmente para los de 1^a y 2^a generación, debido a la preocupación de un desplazamiento de la producción alimenticia y uso de suelos fértiles para su producción. También, la falta de infraestructura para producir biodiesel y bioetanol limita el desarrollo de esta industria en México. A lo anterior se suma el hecho de

que la demanda de ciertos insumos agrícolas supera la producción nacional.

Pese a las dificultades, existen casos de éxito en México como Grima, Nerixis y DerTek, las cuales producen biocombustibles de 1^a, 2^a y 3^a generación respectivamente (Tabla 2). El futuro de Grima está condicionado a la existencia de excedentes en la producción agrícola de los insumos, de otro modo, podría provocar el encarecimiento de alimentos. El

caso de Nerixis es interesante ya que aprovecha residuos sin competir con la alimentación; mientras que facilita la reducción de esos desperdicios excesivos, genera una fuente económica complementaria para el sector agrícola. Finalmente, el caso de DerTek a pesar de su alto potencial en términos de volumen de producción (entre 10 mil y 100 mil litros por ha), su éxito es limitado por el alto costo de producción y un mercado muy limitado.

En cuanto a investigación, por iniciativa académica se creó el clúster de biocombustibles sólidos y gaseosos, el cual incluye a existen diferentes grupos de investigación colaborando en México como el CINVESTAV Juriquilla, el IPICYT, la UNAM y la UAM. Por ejemplo, en el Laboratorio Planta Piloto de Bioprocesos Dr. Sergio Revah Moiseev de la UAM Unidad Cuajimalpa, investigan el uso de cepas de microalgas mexicanas como *Scenedesmus obtusiusculus* para la producción de aceite para biodiesel y de biogás con la biomasa residual [11]. Por otro lado, profesores de la Unidad Lerma en colaboración con investigadores de la Unidad Iztapalapa, estudian el uso del hongo fitopatógeno *Stagonosporopsis cucurbitacearum* como agente biológico para el pretratamiento de deslignificación de biomasa de lirio acuático (una maleza acuática a nivel mundial) e hidrólisis enzimática de su celulosa y hemicelulosa.

lulosa para la obtención de azúcares reductores para la producción de bioetanol. Propuesta que pretende aportar soluciones a nivel ecológico, económico, industrial y de salud.

Conclusiones

Los biocombustibles representan una alternativa viable para disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de GEI. Aunque se han logrado avances en su desarrollo, su adopción a gran escala enfrenta desafíos como la limitada infraestructura, la percepción pública y la posible competencia con la producción de alimentos. En México, a pesar del alto potencial para su producción, el desarrollo industrial aún es incipiente y requiere mayor impulso mediante políticas públicas, financiamiento e investigación.

Como perspectiva futura, las tecnologías de 4a y 5a generación representan un avance prometedor en el desarrollo de biocombustibles sostenibles. La primera se basa en materias primas no alimentarias y organismos modificados genéticamente, con procesos orientados a lograr una huella de carbono neutra o negativa. Por su parte, la 5a generación, aún en fase experimental, incorpora biología sintética, inteligencia artificial, nanotecnología y robótica, con el objetivo de automatizar y optimizar la producción, reduciendo costos energéticos y económicos. Estas generaciones podrían redefinir el panorama energético hacia modelos más eficientes y ambientalmente responsables. **iBIO**

Referencias

- [1] Sikiru, S., Abioye, K. J., Adedayo, H. B., Adebukola, S. Y., Soleimani, H., Anar, M. (2024). Technology projection in biofuel production using agricultural waste materials as a source of energy sustainability: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 200: 114535. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114535>
- [2] Cavalius, P., Engelhart-Straub, S., Mehler, N., Lercher, J., Awad, D., Brück, T. (2023) The potential of biofuels from first to fourth generation. *PLOS Biology*, 21(3): e3002063. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002063>

[pbio.3002063](https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002063)

- [3] Devora, P. S., Verma, Y., Muhal, R. A., Goswami, C., Singh, T. (2022). Biofuels: An alternative to conventional fuel and energy source. *Materials Today: Proceedings*, 48, 1178-1184. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.227>
- [4] Neupane, D. (2022). Biofuels from renewable sources, a potential option for biodiesel production. *Bioengineering*, 10(1), 29. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10010029>
- [5] Sims, R. E. H., Mabee, W., Saddler, J. N., Taylor, M. (2010). An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresource Technology*, 101(6), 1570–1580. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.046>
- [6] Chapman, R. L. (2013). Algae: The world's most important "plants"-an introduction. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(1), 5–12. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9255-9>
- [7] Alishah Aratboni, H., Rafiei, N., Garcia-Granados, R., Alemzadeh, A., Morones-Ramírez, J. R. (2019). Biomass and lipid induction strategies in microalgae for biofuel production and other applications. *Microbial Cell Factories*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12934-019-1228-4>
- [8] Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology advances*, 25(3), 294-306. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>
- [9] INEGI. (2023). *Resultados definitivos del censo agropecuario 2022*. Recuperado de: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA_Def/CA_Def2022.pdf#:~:text=2\)%20Producci%C3%B3n%20agr%C3%ADcola%20De%20las%2025%20703,hubo%20quien%20la%20sembrara%2C%20entre%20otras%20razones.](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA_Def/CA_Def2022.pdf#:~:text=2)%20Producci%C3%B3n%20agr%C3%ADcola%20De%20las%2025%20703,hubo%20quien%20la%20sembrara%2C%20entre%20otras%20razones.)
- [10] Rojas García, J. M. (2019). *Impulsando la producción mexicana de biodiésel de tercera generación con microalgas*. La Crónica. Recuperado de: <https://www.cronica.com.mx/notas-impulsando-la-produccion-mexicana-de-biodiesel-de-tercera-generacion-con-microalgas-1121651-2019.html>
- [11] Gorry, P. L., Ángeles, R., Revah, S., Morales-Ibarría, M. (2022). Effect of nitrogen feast-famine cycles and semi-continuous cultivation on the productivity of energy-rich compounds by *Scenedesmus obtusiusculus* AT-UAM. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(6), 1506-1516. <https://doi.org/10.1002/jctb.6987>
- [12] STATISTA, 2025. <https://www.statista.com/search/?q=bioenergy&Search=&p=1>