

Una perspectiva ética en la producción de biocombustibles

An Ethical Perspective on Biofuels Production

*Claudia Gutiérrez-Antonio**

* Doctora en Ciencias en Ingeniería Química por el Instituto Tecnológico de Celaya, Guanajuato. Profesora investigadora en la Facultad de Ingeniería de la UAQ. Miembro del SNI (Nivel 2). Correo electrónico: claudia.gutierrez@uaq.mx. ORCID: 0000-0002-7557-2471.

Resumen

Actualmente, la sociedad enfrenta complejos retos en materia energética, ambiental y de salud, los cuales, además, se encuentran interrelacionados. En este contexto, se han presentado los objetivos de desarrollo sostenible, siendo uno de ellos el relacionado con la energía asequible y no contaminante. Dentro de las alternativas propuestas para alcanzar este objetivo, el uso y producción de biocombustibles destaca debido a que, al generarse de la transformación de la biomasa, pueden estar disponibles prácticamente en cualquier lugar del planeta. Al momento, se han desarrollado diferentes procesos de conversión a partir de diferentes tipos de materias primas renovables, cada uno de los cuales tiene diferentes rendimientos y costos. Sin embargo, el uso y producción de biocombustibles sumará al desarrollo sostenible en tanto sea analizado desde un enfoque multidisciplinario. Por ello, en el presente artículo se lleva a cabo un análisis de los principios éticos en la producción de biocombustibles.

Palabras claves: Combustibles renovables, procesos de conversión, biomasa, principios éticos.

Abstract

Nowadays, society faces complex challenges in energy, environmental, and health matters, which, moreover, are interrelated. In this context, the sustainable development goals have been presented, one of them being related to affordable and non-polluting energy. Among the alternatives proposed to achieve this objective, the use and production of biofuels stands out because, as they are generated from the transformation of biomass, they can be available practically anywhere on the planet. At the moment, different conversion processes have been developed from different types of renewable raw materials, each of which has different yields and costs. However, the use and production of biofuels will add to sustainable development as long as it is analyzed from a multidisciplinary approach. Therefore, in this article an analysis of the ethical principles in the production of biofuels is carried out.

Keywords: Renewable fuels, conversion processes, biomass, ethical principles.

1. Introducción

En la actualidad, la sociedad enfrenta grandes retos, posiblemente los mayores en su historia; estos retos impactan la vida de la humanidad, tal cual se conoce hoy en día, dado que se relacionan con aspectos ambientales, energéticos, así como de salud.

En el aspecto ambiental, uno de los principales retos es el cambio climático. Este problema radica en una acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera terrestre. De manera natural, el dióxido de carbono es necesario para mantener una adecuada temperatura, y permitir, así, la vida en la tierra. Sin embargo, en las últimas décadas la concentración de este gas ha aumentado de manera significativa. De acuerdo con el Banco Mundial, en 1960 se generaban a nivel mundial 9,463,838.5 kt de CO₂, mientras que esta cifra se incrementó en 3.59 veces en 2018 (WB, 2022). Como resultado de ello, la temperatura terrestre se ha incrementado, creando el problema conocido como cambio climático; este fenómeno altera los patrones climatológicos, lo cual produce afectaciones en las zonas costeras, así como en la biodiversidad y los ecosistemas. Este reto ambiental se encuentra directamente relacionado con el energético, que se describe a continuación.

En el aspecto energético, el principal reto radica en la alta dependencia que como sociedad se tiene de la energía. A partir del descubrimiento del petróleo, tanto éste como sus derivados han sido ampliamente utilizados para la generación de diversos productos, entre ellos la energía. El petróleo se origina de restos de plantas y animales que estuvieron sometidos a elevadas temperaturas y presiones, bajo la superficie terrestre, durante millones de años; cuando el petróleo es extraído y empleado como combustible se libera dióxido de carbono a la atmósfera, ya que es el producto de la reacción de combustión; esto implica que con el uso de combustibles derivados de petróleo se libera de forma rápida una gran cantidad de carbono, el cual estuvo secuestrado millones de años bajo la superficie terrestre (ciclo largo de carbono). En consecuencia, el dióxido de carbono comienza a acumularse, dado que la cantidad de este gas es elevada, y no puede ser absorbida en su totalidad por los ecosistemas; dicha acumulación genera el problema del cambio climático que

se describió en párrafos anteriores. Además, el petróleo es un recurso energético no renovable, y, aunque existe controversia con respecto a la fecha en la cual el pico máximo de su producción será alcanzado, es un hecho que éste se agotará. Por ello, se requiere buscar nuevas fuentes de energía que sean renovables, correspondientes al ciclo corto de carbono, que permitan satisfacer las necesidades energéticas de la sociedad sin contribuir al problema del cambio climático.

Finalmente, en el aspecto relacionado con la salud, la pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV-2 ha cambiado la forma en la cual se conoce el mundo. Con el objetivo de ralentizar la propagación del virus se establecieron medidas de aislamiento social a nivel internacional. Así, la forma de trabajar, estudiar, comprar, recibir atención médica, así como las actividades de recreación cambiaron drásticamente; en consecuencia, estos cambios ocasionaron disturbios significativos en las cadenas de suministro de los diferentes productos y servicios. Derivado de lo anterior, existe una gran incertidumbre en los mercados, así como problemas de desabasto de algunos productos. Esto ha traído una recesión económica, a pesar de que ya se cuenta con algunas vacunas autorizadas y aplicadas a la población a nivel mundial.

En este contexto, la Agencia Internacional de Energía en conjunto con el Fondo Monetario Internacional desarrollaron un plan sustentable para la recuperación económica (IEA, 2020). Por lo que en aras de lograr la recuperación económica sustentable se considera la inversión en algunos sectores claves, siendo uno de ellos la producción y uso de biocombustibles.

Los biocombustibles se producen mediante la transformación de la biomasa, entendiendo a ésta como aquel material biológico que se genera en el ciclo corto del carbono; en el presente trabajo se emplearán los términos materia prima renovable y biomasa de manera indistinta. Desde el punto de vista técnico, todas las materias primas renovables pueden ser convertidas en biocombustibles; no obstante, cada una de las rutas de producción poseen diferentes rendimientos y costos asociados. El estudio de una amplia variedad de materias primas, así como de rutas de transformación, se debe a que, si bien la biomasa se encuentra disponible prácticamente en cualquier lugar del planeta, ésta no es la misma en todos los lugares.

En este contexto, se han publicado diversos artículos relacionados con estudios técnicos y económicos de procesos de producción de bioetanol (Ayodele *et al.*, 2020; Da Maia *et al.*, 2020), biobutanol (Yeong *et al.*, 2018; Pinto *et al.*, 2021), biodiésel (Mohiddin *et al.*, 2021), gasolina renovable (Kianfar *et al.*, 2020; Mascal y Duta, 2020), diésel verde (Othman *et al.*, 2017; Amin, 2019), bioturbosina (Gutiérrez-Antonio *et al.*, 2017; Wei *et al.*, 2019), biogás (Mishr *et al.*, 2021; Sun *et al.*, 2021), hidrógeno renovable (Martínez-Burgos *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2021), así como pellets combustibles (Pradhan *et al.*, 2018; Anukam *et al.*, 2021). No obstante, es importante también analizar su producción desde una perspectiva ética. En ocasiones, este tópico no se considera relevante; sin embargo, la ética se relaciona con las conductas diarias en los negocios, tanto de los sectores tanto públicos como privados (Grebner *et al.*, 2022). De igual manera, lo anterior se relaciona con los objetivos de desarrollo sostenible, en especial con el asociado con la energía asequible y no contaminante. De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas, se necesitan esfuerzos más intensos en energía renovable y sostenible, dado que en 2017 ésta representaba solamente el 17 por ciento del consumo total mundial (UN, 2022). Si bien contar con procesos de producción factibles técnica y económicamente que sean sustentables es indispensable, también es necesario incorporar un análisis ético para no llevar a cabo acciones que terminen afectando en vez de lograr el beneficio esperado. Este enfoque multidisciplinario coadyuvará a resolver los grandes retos que la sociedad enfrenta. Por ello, en el presente trabajo se realiza un análisis de los principios éticos en la producción de biocombustibles.

2. Desarrollo

Con el objetivo de analizar los aspectos éticos involucrados en la producción de biocombustibles se comenzará esta sección brindando información sobre las materias primas y tipos de procesos para su producción (subsección 2.1). Posteriormente se mencionará la normatividad relacionada, tanto legal, técnica como de sustentabilidad (subsección 2.2).

Con base en esta información se presentará la definición de ética, y la discusión en torno a los principios éticos involucrados en la producción de biocombustibles (subsección 2.3).

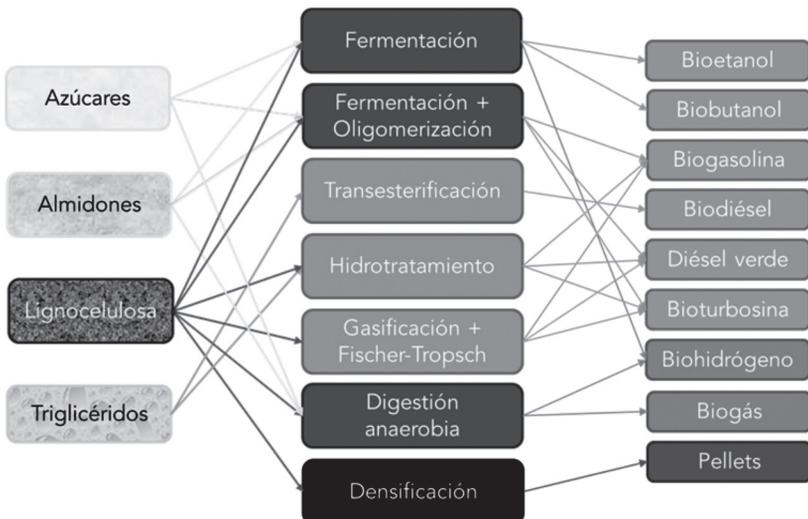
2.1. Biomasa y producción de biocombustibles

Como se mencionó, prácticamente cualquier tipo de biomasa puede convertirse, mediante el proceso adecuado, en cualquier tipo de biocombustible. La biomasa se define como un material natural y renovable con una gran variabilidad química que puede ser encontrado en todos los continentes (Bonechi *et al.*, 2017). Algunas materias primas renovables, como la leña, han sido utilizadas como combustible desde que la humanidad aprendió a generar el fuego, y ésta fue la fuente primaria de energía antes del descubrimiento de los combustibles fósiles (Fekete, 2013). Existen muchas clasificaciones para la biomasa; una de ellas, propuesta por Maity (2015), considera la naturaleza química de las materias primas renovables: triglicéridos, lignocelulosa, azúcares y almidones. En el caso de la biomasa rica en triglicéridos se encuentran los aceites y grasas, tanto vegetales como animales, y se incluyen también aceites residuales; ejemplos de este tipo de materias primas renovables son el aceite de coco, el aceite de *Jatropha curcas*, el aceite de microalgas, el aceite residual de cocina, así como el sebo. Por otra parte, las materias que consisten principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina se consideran lignocelulósicas; en esta categoría se pueden mencionar los residuos agrícolas, forestales, agroindustriales, y agropecuarios. Finalmente, las materias primas renovables que son ricas en azúcares y almidones son principalmente aquellas destinadas al consumo humano, tales como la caña de azúcar, la remolacha, así como residuos de la industria de la confitería. Esta clasificación es muy útil para agrupar a los diferentes tipos de biomasa en rutas de procesamiento, ya que, sin importar su origen, la composición química de éstas consta de moléculas similares. No obstante, en esta clasificación no se diferencian o separan las materias primas comestibles, de aquellas no comestibles, y/o residuales. La biomasa comestible es aquella que se destina para la alimentación de animales, humanos y no humanos; en esta categoría destacan los cereales, leguminosas, frutas y verduras. Por otra parte,

en las materias primas no comestibles se encuentran los cultivos energéticos, es decir, aquellas especies que son cultivadas exclusivamente para la producción de biocombustibles; en esta categoría pueden citarse higuierilla, salicornia, microalgas, y *Jatropha curcas*. Finalmente, la biomasa residual incluye a todos los residuos generados de actividades agrícolas, forestales, industriales, alimenticias y urbanas. A su vez, un alimento puede clasificarse de acuerdo a su naturaleza química; es decir, se tienen materias renovables comestibles ricas en triglicéridos (aceite de soya), azúcares (caña de azúcar), y almidones (papa).

La conversión de la biomasa (comestible, no comestible o residual) permite producir biocombustibles en estado sólido, líquido o gaseoso. Dentro de los biocombustibles líquidos se encuentran el bioetanol, biobutanol, biogasolina, biodiésel, diésel verde y bioturbosina. Por otra parte, el hidrógeno renovable y el biogás son los biocombustibles gaseosos más comunes, mientras que los pellets combustibles corresponden a los biocombustibles sólidos. En la Figura 1 se muestran las diferentes rutas de conversión que permiten obtener biocombustibles líquidos, sólidos y gaseosos a partir de diferentes tipos de biomasa.

Figura 1. Procesos de producción de biocombustibles con base en la naturaleza química de la biomasa.



En general, los procesos de fermentación y digestión anaerobia se llevan a cabo a temperaturas moderadas, mediante la ayuda de microorganismos. Por otra parte, la transesterificación, la gasificación y el hidrotatamiento requieren catalizadores y condiciones moderadas-altas de presión y temperatura. Finalmente, la densificación es un proceso mecánico que posibilita la compactación de la biomasa en forma de pequeños cilindros. La composición, propiedades y procesos de producción de los diferentes biocombustibles se encuentran regidos por normatividades técnicas, legales y ambientales; éstas se describen en la siguiente subsección.

2.2. Normatividad de biocombustibles

La normatividad asociada a la composición, producción y uso de los biocombustibles contempla aspectos técnicos, ambientales, así como legales. A continuación, se presentará información sobre cada uno de estos aspectos.

En el aspecto técnico, la evaluación de la composición, procesos de producción autorizados, así como el uso de dichos biocombustibles se encuentra concentrado en los estándares de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials, ASTM) y la Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization, ISO). Los estándares ASTM se enfocan principalmente en los biocombustibles líquidos (ASTM, 2022), mientras que aquellos que contemplan biocombustibles sólidos y gaseosos se encuentran cubiertos por los estándares ISO (ISO, 2022). En los estándares, tanto ASTM como ISO, se establecen las propiedades fisicoquímicas que deben cumplir los biocombustibles, sin importar la materia prima de la cual se elaboren. De igual forma, se establecen los procesos de producción autorizados para materias primas ricas en triglicéridos, lignocelulosa, azúcares y almidones; sin embargo, no se discuten aspectos relacionados con el uso de las materias primas que son comestibles.

En el aspecto ambiental, la evaluación de la reducción de las emisiones de dióxido de carbono se determina mediante los estándares de la Mesa Redonda de Biomateriales Sustentables (Roundtable on Sus-

tainable Biomaterials, RSB). En la RSB se cuenta con estándares de sustentabilidad para la producción de biocombustibles fuera y dentro de la Unión Europea, en los que se hace mención a diferentes tipos de materias primas (RSB, 2022). Si bien no se excluye la biomasa comestible, si se hace mención al aspecto de la Seguridad Alimentaria Local, en el Principio 6. En dicho principio se establece que en las actividades relacionadas con la producción de biocombustibles se deben identificar los riesgos a la seguridad alimentaria de las regiones en donde éstas se lleven a cabo. Adicionalmente, deben implementarse medidas de mitigación de dicho riesgo, y su resultado debe ser evaluado.

En el aspecto legal, en México se cuenta con la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos que fue promulgada en 2008. En dicha ley se establece que se debe promover la producción de insumos para Bioenergéticos, a partir de las actividades agropecuarias, forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano; lo anterior sin poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria del país de conformidad con lo establecido en el artículo 178 y 179 de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (DOF, 2008). En dichos artículos de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable se establecen como productos básicos los siguientes: maíz, caña de azúcar, frijol, trigo, arroz, sorgo, café, huevo, leche, carne de bovinos, porcinos, aves, y pescado; en consecuencia, dichos productos no pueden ser empleados para la producción de biocombustibles, a menos que se cuente con excedentes en la producción, y la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (antes Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) autorice su uso.

Así, puede observarse que se cuenta con un marco normativo en los aspectos técnicos, ambientales y legales relacionados con la producción de biocombustibles. Bajo este marco, se revisarán los principios éticos en la investigación sobre los procesos de producción de biocombustibles.

2.3. Análisis de principios éticos relacionados con los biocombustibles

De acuerdo a Molina Ramírez (2013), la bioética surge como una respuesta primordial a los conflictos suscitados por el rápido avance del

conocimiento científico y técnico en las diferentes áreas de la medicina y la biología, sumados a la identificación de los efectos nocivos en el medio ambiente como consecuencia de la contaminación indiscriminada del planeta. Con base en esta definición puede notarse que el avance de la ciencia en el desarrollo de procesos de producción de biocombustibles cae dentro del campo de bioética, toda vez que dichos procesos se han desarrollado con el objetivo de contar con fuentes de energía que sean asequibles, renovables, y de mínimo impacto ambiental. Lo anterior en aras de contar con energía, para satisfacer las necesidades actuales y futuras, al mismo tiempo que se contribuye a resolver, al menos parcialmente, el problema del cambio climático. Por otra parte, de acuerdo con Hincapié Sánchez y Medina Arellano (2019), la bioética se basa en cuatro principios: autonomía, no maleficencia, beneficencia, y justicia. De manera particular, los principios de no maleficencia, beneficencia y justicia se relacionan directamente en los procesos de producción de biocombustibles.

En la investigación en torno a la producción de los biocombustibles, uno de los principios relevantes es el de no maleficencia. En este sentido, la producción de biocombustibles no debería realizarse a partir de materias comestibles, ya que esto afectaría la seguridad alimentaria de los animales, tanto humanos como no humanos. Adicionalmente, el uso de alimentos para la producción de biocombustibles alteraría su demanda, lo que provocaría un incremento en el precio de dichos insumos. En consecuencia, el acceso a los alimentos se limitaría a aquellos con mayor poder adquisitivo, con lo cual se promueve una sociedad menos equitativa; éste último aspecto se relaciona a su vez con el principio de justicia. Es importante añadir que el uso de materias primas no comestibles no afecta de manera directa a la seguridad alimentaria; sin embargo, sí fomenta una competencia por tierras de cultivo, con lo cual de manera indirecta si se provocaría una afectación. Esta situación podría originar que se cultivaran preferentemente aquellas especies con mejor precio en el mercado; en consecuencia, la oferta y la demanda se verían alterados, limitando el acceso a los alimentos a aquellas personas con mayor poder adquisitivo, generando las consecuencias antes descritas. Adicionalmente, estas acciones contravendrían al principio de beneficencia, ya que a pesar de generar biocombustibles éstos se obtendrían

a expensas de afectar la seguridad alimentaria de los animales, tanto humanos como no humanos.

Otro aspecto que también se encuentra relacionado con el principio de no maleficencia es el concerniente con el cambio de uso de suelo. Este aspecto se refiere al proceso mediante el cual zonas de bosques o reservas naturales se convierten en áreas de cultivo. Con base en estudios de análisis de ciclo de vida se ha determinado que el cambio de uso de suelo no contribuye a disminuir las emisiones de dióxido de carbono, sino que, por el contrario, incrementa dichas emisiones. Si se generan más emisiones, el problema del cambio climático se agrava, con lo cual se afecta a los animales, tanto humanos como no humanos, derivado de los cambios en los patrones climatológicos. De igual manera, este punto se relaciona con el principio de beneficencia, ya que al realizar el cambio de suelo en aras de lograr un impacto positivo en realidad se estaría logrando el efecto opuesto.

El principio de justicia indica que todos los seres humanos deben tener acceso a los biocombustibles, ya que esto permitirá que exista equidad dentro de la sociedad. Actualmente, los combustibles no renovables son los más empleados a nivel mundial, como se observa en la Tabla 1.

De la Tabla 1 se observa que el petróleo, el carbón y el gas natural son los combustibles no renovables más utilizados para satisfacer la demanda de energía a nivel mundial. En el periodo 2010-2019, el uso

Tabla 1. Consumo de combustibles a nivel mundial. Elaboración propia con datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2022)

| Combustible | 2010 (Mtoe) | 2019 (Mtoe) | Variación (%) |
|----------------------|-------------|-------------|---------------|
| Nuclear | 530.27 | 864.36 | +63.00 |
| Biomasa | 707.03 | 576.24 | -18.49 |
| Renovables | 441.89 | 1,440.6 | +226.00 |
| Gas natural | 1,855.95 | 3,313.38 | +78.52 |
| Petróleo | 2,828.11 | 4,465.86 | +57.90 |
| Carbón | 2,474.60 | 3,745.56 | +51.36 |
| Emisiones CO2 | 30.4 Gt | 33.3 Gt | +9.5 |

de estos combustibles no renovables se incrementó, en especial el gas natural. Es importante mencionar que, si bien estos combustibles se encuentran al alcance de la población, no son producidos de forma local en todos los países. Ello conlleva la dependencia energética de los países no productores, con todo lo que ello implica.

Por otra parte, las energías renovables crecieron en 226 por ciento en el periodo 2010-2019, lo cual permitió que, pese a que el consumo de energía incrementó en 63 por ciento, las emisiones de dióxido de carbono asociadas sólo lo hicieron en 9.5 por ciento. Esto permite evidenciar el beneficio de la producción y uso de energía proveniente de fuentes renovables. En particular, el dióxido de carbono liberado durante la quema de los biocombustibles equivale al absorbido por la biomasa durante su crecimiento; por ello, es posible reducir hasta en un 80 por ciento las emisiones de dióxido de carbono considerando desde la obtención de la materia prima hasta su uso. Como se mencionó anteriormente, los biocombustibles pueden producirse de prácticamente cualquier tipo de biomasa, lo que permite que puedan generarse localmente. Considerando que la disponibilidad de los biocombustibles es fundamental para el transporte de personas, alimentos, medicamentos, así como mercancías puede afirmarse que el uso de biocombustibles contribuye a contar con una sociedad equitativa, justa y sostenible. En este contexto es importante continuar con los estudios de diferentes tipos de materias primas, para asegurar que los biocombustibles puedan ser producidos localmente en todos los lugares del planeta.

Como se mencionó anteriormente, los biocombustibles pueden generarse a partir de insumos comestibles y no comestibles, lo cual puede afectar la seguridad alimentaria; por ello, la investigación en los procesos de producción de biocombustibles debe considerar que la biomasa empleada sea de mínima afectación a la población, con especial interés en el aspecto alimenticio. Esto permitirá que la población de escasos recursos no enfrente problemas causados por intereses de las industrias del sector de biocombustibles compitiendo por la alimentación humana. En este contexto, el uso de residuos como materias primas representa una alternativa promisorias que permite generar biocombustibles sin afectar la seguridad alimentaria, y resolviendo, al mismo tiempo, el problema de contaminación que éstos generan debido a sus elevados

volúmenes e inadecuada disposición. Además, los residuos se generan en todo el planeta, por lo que podrían emplearse para la producción de biocombustibles. Es importante mencionar que los procesos de conversión de dichos residuos deben ser de mínimo consumo de energía, para así contribuir de manera real a la solución de los retos actuales.

3. Conclusiones

Los biocombustibles son una alternativa para solucionar los grandes retos que la sociedad enfrenta hoy en día en materia de energía asequible y renovable. Para ello, el esfuerzo de los investigadores y tecnólogos ha permitido contar con diferentes procesos para producir biocombustibles, considerando diferentes tipos de biomasa. Para que los biocombustibles puedan ser empleados requieren cumplir con propiedades fisicoquímicas que posibiliten su uso en la infraestructura actual, con precios competitivos, y con mínimo impacto ambiental. Para ello, existe una amplia variedad de materias primas que pueden ser empleadas; en este contexto, la producción de biocombustibles debe considerar los principios éticos relacionados con justicia, no maleficencia y beneficencia. Así, sólo aquellas soluciones que consideran enfoques multidisciplinarios en la producción de biocombustibles permitirán contribuir al objetivo de lograr un desarrollo sostenible.

4. Bibliografía

- Oliveira, A. M., R. R. Beswick y Y. Yan (2021). A Green Hydrogen Economy for a Renewable Energy Society. *Current Opinion in Chemical Engineering*, (33), <https://doi.org/10.1016/j.coche.2021.100701>.
- Anukam, A., J. Berghel, G. Henrikson, S. Frodeson y M. Ståhl (2021). A Review of the Mechanism of Bonding in Densified Biomass Pellets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (148). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111249>.

- Mishra, A., M. Kumar, N. S. Bolan, A. Kapley, R. Kumar y L. Singh (2021). Multidimensional Approaches of Biogas Production and Up-gradation: Opportunities and Challenges. *Bioresource Technology*, (338). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125514>.
- Amin, A., (2019). Review of Diesel Production from Renewable Resources: Catalysis, Process Kinetics and Technologies. *Ain Shams Engineering Journal*, 10 (4). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.001>.
- ASTM, American Society for Testing and Materials (2022). *Standards and Publications*. Disponible en: <https://www.astm.org/products-services/standards-and-publications.html>.
- Fekete, B. M., (2013). 3.05-Biomass. *Climate Vulnerability*, (3), 83-87. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384703-4.00312-9>.
- Ayodele, B. V., M. Ali Alsaffar, S. Indati Mustapa (2020). An Overview of Integration Opportunities for Sustainable Bioethanol Production from First- and Second-Generation Sugar-based Feedstocks. *Journal of Cleaner Production*, (245). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118857>.
- Bonechi, C., M. Consumi, A. Donati, G. Leone, A. Magnani, G. Tamasi, C. Rossi (2017). 1-Biomass: An Overview. En *Bioenergy Systems for the Future* (pp. 3-42). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101031-0.00001-6>.
- Gutiérrez-Antonio, C., F. I. Gómez-Castro, J. A. de Lira-Flores, S. Hernández (2017). A Review on the Production Processes of Renewable Jet Fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (79), 709-729. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.108>.
- DOF, *Diario Oficial de la Federación* (2008). *Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos*. Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPDB.pdf>.
- Grebner, D. L., P. Bettinger, J. P. Siry, K. Boston, Ethics. En D. L. Grebner, P. Bettinger, J. P. Siry y K. Boston (eds.), *Introduction to Forestry and Natural Resources* (pp. 409-428). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819002-9.00017-1>.
- Kianfar, E., S. Hajimirzaee, S. Mousavian, A. Soleimani Mehr (2020). Zeolite-based Catalysts for Methanol to Gasoline Process: A Review. *Microchemical Journal*, (156), <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104822>.
- Sun, H., X. Cui, R. Li, J. Guo, R. Dong (2021). Ensiling Process for Efficient Biogas Production from Lignocellulosic Substrates: Methods, Mechanisms, and Measures. *Bioresource Technology*, (342). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125928>.

- IEA, International Energy Agency (2020). *Sustainable Recovery–World Energy Outlook Special Report*. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>.
- IEA, International Energy Agency (2022). *Global Energy Review*. Disponible en: <https://www.iea.org/topics/global-energy-review>.
- ISO, International Standard Organization (2022). *Standards*. Disponible en: <https://www.iso.org/standards.html>.
- Hincapié Sánchez, J., M. J. Medina Arellano (2019). *Bioética: teorías y principios – Enseñanza Transversal en Bioética y Bioderecho*. Ciudad de México: Instituto de Investigaciones Jurídicas-UNAM. Disponible en: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/13/6006/1.pdf>.
- Lucas da Maia, J., J. Soares Cardoso, D. Joanol da Silveira Mastrantonio, C. Krause Bierhals, J. Botelho Moreira, J. Alberto Vieira Costa, M. Greque de Morais (2020). Microalgae Starch: A Promising Raw Material for the Bioethanol Production. *International Journal of Biological Macromolecules*, (165), 2739-2749. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.159>.
- Mascal, M., S. Dutta (2020). Synthesis of Highly-branched Alkanes for Renewable Gasoline. *Fuel Processing Technology*, (197). <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.106192>.
- Fahmi Othman, M., A. Adam, G. Najafi, R. Mamat (2017). Green Fuel as Alternative Fuel for Diesel Engine: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (80), 694-709. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.140>.
- Nurfirdaus Bin Mohiddin, M., Y. Hua Tan, Y. X. Seow, J. Kansedo, N. M. Mubarak, M. O. Abdullah, Y. San Chan, M. Khalid (2021). Evaluation on Feedstock, Technologies, Catalyst and Reactor for Sustainable Biodiesel Production: A Review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, (98), 60-81. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.03.036>.
- Molina Ramírez, N. (2013). La bioética: sus principios y propósitos, para un mundo tecnocientífico, multicultural y diverso. *Revista Colombiana de Bioética*, 8 (2), 18-37. <https://www.redalyc.org/pdf/1892/189230852003.pdf>.
- Pradhan, P., S. M. Mahajani, A. Arora (2018). Production and Utilization of Fuel Pellets from Biomass: A Review. *Fuel Processing Technology*, (181), 215-232. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.09.021>.
- RSB, Roundtable on Sustainable Biomaterials (2022). *Certification types*. Disponible en: <https://rsb.org/rsb-global-fuel-certification/>.
- Maity, S. K. (2015). Opportunities, Recent Trends and Challenges of Integrated Biorefinery: Part I. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (43), 1427-1445. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.092>.

- Pinto, T., X. Flores-Alsina, K. V. Gernaey, H. Junicke (2021). Alone or Together? A Review on Pure and Mixed Microbial Cultures for Butanol Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (147). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111244>.
- Kai Yeong, T., K. Jiao, X. Zeng, L. Lin, S. Pan, M. K. Danquah (2018). Microalgae for Biobutanol Production – Technology Evaluation and Value Proposition. *Algal Research*, (31), 367-376. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.02.029>.
- UN, United Nations (2022). *Data-CO2 Emissions (kt)*. Disponible en: <https://data.worldbank.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT>
- Martinez-Burgos, W. J., E. de Souza Candeo, A. Bianchi Pedroni Medeiros, J. Cesar de Carvalho, V. Oliveira de Andrade Tanobe, C. R. Soccol, E. Bittencourt Sydney (2021). Hydrogen: Current Advances and Patented Technologies of Its Renewable Production. *Journal of Cleaner Production*, (286). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124970>.
- WB, World Bank (2022). *Data-CO2 Emissions (kt)*. Disponible en: <https://data.worldbank.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT>.
- Wei, H., W. Liu, X. Chen, Q. Yang, J. Li, H. Chen (2019). Renewable Bio-jet Fuel Production for Aviation: A Review. *Fuel*, (254). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.06.007>.

Recibido: 19 de enero de 2022
Aceptado: 11 de mayo de 2022