

ANÁLISIS DE LEGISLACIÓN SOBRE BIORREFINERÍAS EN MÉXICO

Analysis of legislation on biorefineries in Mexico

Alejandra Gabriela YÁÑEZ-VERGARA¹, Perla Xochilt SOTELO-NAVARRO¹,
Héctor Mario POGGI-VARALDO^{1,2*}, José Víctor CALDERÓN-SALINAS^{1,3},
Rocío SÁNCHEZ-PÉREZ⁴ y Yasuhiro MATSUMOTO-KUWABARA⁵

¹ Programa Transdisciplinario en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional. Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, San Pedro Zacatenco, 07360 Ciudad de México, México.

² Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, San Pedro Zacatenco, 07360 Ciudad de México, México.

³ Departamento de Bioquímica, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, San Pedro Zacatenco, 07360 Ciudad de México, México.

⁴ Centro Mexicano para la Producción más Limpia, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto s/n, Ticomán, 07340 Ciudad de México, México.

⁵ Departamento de Ingeniería Eléctrica, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional 2508, San Pedro Zacatenco, 07360 Ciudad de México, México.

(Recibido: marzo 2021; aceptado: junio 2021)

Palabras clave: biorrefinación de residuos, leyes, políticas públicas, residuos orgánicos

RESUMEN

La biorrefinería (BRF) de residuos sólidos orgánicos (RSO) propone el aprovechamiento y transformación de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos para la obtención de bioenergías y productos de valor agregado. La investigación y desarrollo de BRF de RSO en el marco internacional ha demostrado tener ventajas potenciales y factuales en el marco del desarrollo sostenible. Además, existe evidencia internacional sobre los posibles beneficios de la legislación relacionada con BRF. En consecuencia, por propiedad transitiva, una legislación sobre BRF seguramente será una gran contribución al desarrollo sostenible en México. Este trabajo busca determinar el estado de la legislación sobre BRF en México mediante un análisis comparativo de las legislaciones de la Unión Europea (UE) y los Estados Unidos de América (EUA). Los resultados muestran que no hay legislación ni política que regule la tecnología de BRF en México y, en comparación con las legislaciones de EUA y la UE, México muestra un rezago. Sin embargo, en materia de bioenergías la legislación actual presenta un avance alentador, que puede servir de base para la generación de una legislación sobre BRF. Con la finalidad de alcanzar la independencia energética en México y reducir los gases de efecto invernadero, es necesario avanzar en la generación de políticas energéticas y de desarrollo sostenible que amparen el diseño y operación de BRF que aprovechen los RSO y tengan la capacidad de producir biocombustibles, bioenergías y bioproductos de valor agregado. De lo contrario, la incertidumbre legal retrasará el desarrollo de esta tecnología.

Key words: laws, organic waste, public politics, waste biorefining

ABSTRACT

The biorefinery (BRF) of organic solid wastes (RSO) proposes the use and transformation of the organic fraction of urban solid waste to obtain bioenergy and value-added products. RSO's BRF research and development in the international framework have proven potential and factual benefits in the framework of sustainable development. In addition, there is international evidence on the possible benefits of legislation related to BRFs. Consequently, by transitive ownership, BRF legislation will surely have a great contribution to sustainable development in Mexico. This work seeks to determine the status of biorefinery legislation in México, through a comparative analysis of laws in the European Union (EU) and the United States of America (USA). The results show that there is no legislation or policy that regulates BRF technology in Mexico and compared to the laws of the USA and the EU, Mexico shows a lag. However, in the field of bioenergy, the current legislation presents an encouraging advance, which can be used as a basis for developing legislation on BRF. In order to achieve energy independence in Mexico and reduce greenhouse gases, it is necessary to advance in the generation of energy and sustainable development policies that support the design and operation of BRF that take advantage of RSO and are capable of producing biofuels, bioenergy and value-added bioproducts. Otherwise, legal uncertainty would delay the development of this technology.

INTRODUCCIÓN

La producción de biocombustibles a escala mundial ha aumentado significativamente en los últimos años, ya sea debido a intereses políticos, económicos u objetivos dirigidos al cambio climático y al desarrollo rural (Bauer et al. 2017, Espinoza-Pérez et al. 2016).

Actualmente no existen acuerdos internacionales que aborden específicamente la bioenergía; sin embargo, se han generado instrumentos que imponen obligaciones con la finalidad de regular esta temática. Ejemplos de esto último son la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Naciones Unidas 1992), el Protocolo de Kioto (1998) y el Acuerdo de París (UNFCCC 2015), los cuales establecen medidas para prevenir y minimizar las causas del cambio climático, tomando en cuenta los contextos económico, social y ambiental.

Siguiendo esta línea, las políticas energéticas en varios países líderes están dirigidas a resolver o minimizar problemas ambientales por medio de tecnologías congruentes con el ambiente, con la finalidad de emplear e incentivar el uso de fuentes renovables de energía de manera más eficiente y de este modo incrementar su suministro (Demirbas 2006, Tarapués et al. 2020). Por ejemplo, la mezcla de biocombustibles con combustibles fósiles permite que los biocombustibles sean incorporados a las cadenas de consumo de forma paulatina (IRENA 2013).

Residuos sólidos urbanos en México

En México, cada año aproximadamente 6.8 M ton de residuos sólidos urbanos (RSU) son manejados de manera inadecuada, ya que del 79 % de los RSU generados en el país, sólo el 61 % es consignado a rellenos sanitarios y el 16 % a tiraderos, mientras que se desconoce el destino del 2 % restante, lo cual provoca impactos ambientales (SEMARNAT 2018).

De acuerdo con la SEMARNAT (2020), la composición de los RSU en México se encuentra conformada por 46 % de residuos sólidos orgánicos (RSO [residuos de alimentos, residuos de cultivos, madera etc.]) y 32 % de residuos que pueden ser reciclados, en tanto que el 22 % restante corresponde a residuos cuya reutilización es poco factible. Esto demuestra que hay un gran potencial para reintegrar y reprocesar una cantidad importante de los RSU, lo cual contribuye a la baja sostenibilidad de su gestión y a una mayor demanda de recursos naturales.

Por el contrario, actualmente la tendencia mundial es minimizar la disposición final de los RSU y potencializar su aprovechamiento. Esto representa un área de oportunidad importante que necesita ser atendida de manera urgente en México, puesto que el 79 % de los RSU generados no son reprocesados ni reutilizados, y son enviados a rellenos sanitarios (SEMARNAT 2018).

Con el objetivo de facilitar la interpretación y pertinencia de las legislaciones que serán analizadas en este artículo, es fundamental discutir el contexto de

gestión de residuos en los Estados Unidos de América (EUA) y en la Unión Europea (UE). Esta discusión se encuentra en el anexo 13 del material suplementario.

Biorrefinación de residuos

La tecnología de biorrefinación de residuos propone la integración de la biotecnología e ingeniería de procesos. El sustrato (la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos [FORSU]) que alimenta la BRF está sujeto a varias conversiones para maximizar los productos y reducir residuos y desechos (Poggi-Varaldo et al. 2014), obteniéndose como producto final bioenergías y bioproductos (productos de valor agregado). A su vez, la BRF incentiva a las industrias a fabricar productos ecológicos, minimizando la emisión de residuos/descargas al ambiente (Dael et al. 2014).

La bioenergía es uno de los componentes más importantes para reducir los gases de efecto invernadero (GEI) y es un sustituto de los combustibles fósiles (Goldemberg 2000, Dincer 2008). Por su parte, el término biocombustible o combustible biorrenovable, se refiere a combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que son principalmente producidos a partir de biomasa (preferentemente RSO) (Demirbas 2010, Mohan et al. 2016, Campos-Montiel et al. 2018). Por ello la BRF es considerada parte integral del desarrollo hacia una futura bioeconomía sostenible (Bauer et al. 2017).

Además, la BRF permite disminuir las importaciones de materias primas fósiles hasta en un 65 %, así como fortalecer la economía regional (Menrad et al. 2009), proporcionando una relación costo-beneficio efectiva y soluciones prometedoras tanto para la creciente demanda energética como para la gestión sostenible de residuos en países en desarrollo (Nizami et al. 2017, Tarapués et al. 2020).

Estos rasgos de la BRF representan una gran contribución en países en desarrollo, puesto que favorecen la transición de las economías lineales hacia economías circulares, al tiempo que contribuyen al progreso de la población y a la calidad del ambiente (Eide 2008, Nizami et al. 2017). Por ello la BRF de desechos debería tener la capacidad de generar productos comercializables y alcanzar los objetivos de las economías circulares de manera sostenible (Dael et al. 2014).

En esta línea, el esquema de BRF también apoya el enfoque de “economía de base biológica” (*bio-based economy*), el cual está conformado por tres pilares: productos de base biológica, bioenergía y biocombustibles (Kamm et al. 2006), y tiene por objetivo el cambio gradual de productos basados

en materias primas fósiles a biogénicas (Menrad et al. 2009).

Como ya se ha mencionado, uno de los sustratos típicos de la BRF es la FORSU, la cual está conformada por desechos de comida, vegetales, frutas, carne putrefacta, pasto, papel, cartón, etc. (Li et al. 2007), de tal manera que los RSO generados diariamente en México pueden ser aprovechados como materia prima en la BRF y al mismo tiempo favorecer la Visión Nacional hacia una Gestión Sustentable de México: cero residuos, que tiene por objetivo “Transformar el esquema tradicional del manejo de los residuos en un modelo de economía circular, para el aprovechamiento racional de los recursos naturales y favorecer el desarrollo sustentable en el país” (SEMARNAT 2019).

Actualmente en México predomina un manejo deficiente de los RSU, en consecuencia, los residuos generados diariamente no son empleados en procesos sostenibles. De acuerdo con el Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos (DBGIR) diariamente se generan 56 427 t de RSO en México, de las cuales sólo 1327 t al día son aprovechadas mediante compostaje (SEMARNAT 2020). Es decir, 55 100 t de RSO podrían ser aprovechadas diariamente mediante la tecnología de BRF, generando bioenergías y productos de valor agregado, y al mismo tiempo reducir los GEI.

En este trabajo no se encontró evidencia de generación de energía por medio de biorrefinerías comerciales en México, por lo cual se desarrolló la hipótesis de que la legislación en México se encuentra rezagada en la tecnología de BRF. Por un lado, existen evidencias internacionales que sugieren posibles beneficios de la legislación relacionada con la BRF y bioenergéticos sobre el desarrollo de esta tecnología (Centro Mario Molina 2010, Bautista et al. 2016, Espinoza-Pérez et al. 2017, OCDE 2017). Por otro lado, la relación virtuosa entre el desarrollo de la BRF y el desarrollo sostenible se encuentra muy documentada en la literatura internacional y nacional (Naciones Unidas 2015; véanse los anexos 10 y 12 en el material suplementario). Un corolario por relación transitiva podría ser que una legislación sobre BRF seguramente haría una gran contribución al desarrollo sostenible de la sociedad mexicana a través del apoyo al desarrollo de biorrefinerías.

De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este trabajo fue realizar la evaluación de los instrumentos legales existentes en México relacionados con la tecnología de BRF y la generación de biocombustibles y bioenergías, seguida de una identificación de elementos clave que deben considerarse para

desarrollar una ley nacional sólida de biocombustibles, con base en las necesidades actuales y futuras. Además, realizar un comparativo con la legislación de la UE (EUR-Lex) y la legislación de los EUA respecto al esquema de BRF y determinar el estado en el que México se encuentra en materia de regulaciones en este tema.

Este trabajo revela la necesidad urgente de avanzar en la generación de políticas energéticas sostenibles en México, que amparen el diseño y operación de biorrefinerías integradas, capaces de producir biocombustibles, bioenergías y bioproductos. El presente análisis está orientado a los encargados de la toma de decisiones en materia de sostenibilidad energética.

METODOLOGÍA

La metodología se dividió en dos apartados: *i)* revisión de legislaciones referentes al tema de BRF y *ii)* análisis del marco legal para la bioenergía en México. Se optó por utilizar el derecho comparado como disciplina académica. Según Mancera (2008) el derecho comparado puede ser considerado como disciplina, debido a su capacidad de poseer un marco conceptual propio. Esto se debe a la relación entre el derecho comparado y el derecho, con la finalidad de determinar un marco conceptual y clasificar datos empíricos. A su vez, es de gran utilidad en la docencia y en la investigación (en esta última para desarrollar investigación comparativa).

Los sistemas legislativos de EUA y México se manejan por medio de un sistema bicameral y tienen diferencias en el proceso de aprobación, mientras que la UE tiene un sistema parlamentario monocameral o aristocrático.

En el sistema legislativo de EUA y México se presentan iniciativas de ley como primer paso, y se someten a discusión y aprobación por los respectivos senados. Finalmente, el titular del Ejecutivo tiene 10 días para firmar o vetar el proyecto de ley.

En México, el Congreso de la Unión es la primera instancia en emitir su consentimiento. Posteriormente, el presidente de la República puede realizar observaciones, promulgar y ordenar la publicación del decreto en el Diario Oficial de la Federación (DOF).

En el caso de la UE, se emite el informe correspondiente a la iniciativa legislativa presentada por la Comisión Parlamentaria. Posteriormente se realiza la votación de ésta. El proceso podrá ser iterado, de acuerdo con el tipo de procedimiento y hasta llegar a un acuerdo con el Consejo.

Revisión de legislaciones referentes a BRF

Se realizó la búsqueda sistemática de leyes mexicanas relacionadas con la tecnología de BRF, la generación de biocombustibles y bioenergías. Dado el vínculo que existe entre la BRF y la bioenergía (como se mencionó la introducción) la legislación de bioenergéticos en México es el antecedente más cercano respecto a la tecnología de BRF; por consiguiente, debe tomarse como precedente al realizar el análisis de la legislación. Por ello el análisis de instrumentos regulatorios se enfocó principalmente a identificar aquellos que son relevantes en materia de cambio climático, residuos y bioenergía.

Como primer paso se realizó la búsqueda de legislaciones que incluyeran el término “biorrefinería” en los respectivos portales de México, EUA y la UE, para constituir el marco legal referente al esquema de BRF. La búsqueda de información se realizó a través del portal del DOF y en la página de la Cámara de Diputados, mediante el apartado correspondiente a leyes y reglamentos, donde se introdujeron los términos “biorrefinería”, “biorrefinación”, “biofermentación”, “biodigestión”, “bioenergéticos” y “tecnologías sustentables”. Posteriormente se realizó la exploración de las legislaciones cuyo título hiciera referencia a los términos “bioenergéticos” y “sustentabilidad”. Se procedió a descargar estas leyes en formato PDF y se buscó el término “biorrefinería”.

La revisión de legislaciones emitidas en EUA se realizó en la página de regulaciones del gobierno estadounidense (regulations.gov) y en el portal del congreso estadounidense (congress.gov), introduciendo los términos “biorefinerie*” y “biorefinery” en la sección de búsqueda. Posteriormente se refinaron los resultados en la sección “tipo de documento” y se seleccionó la opción “reglamentos”. Después se procedió a comparar los datos de ambas búsquedas con el propósito de eliminar las regulaciones repetidas, puesto que son emitidas por una o más agencias.

Para conformar el marco legal de la UE, en el apartado de búsqueda del portal EUR-Lex se introdujeron los términos “biorefinerie*” y “biorefinery”. Ambos arrojaron el mismo número de resultados, que posteriormente se refinaron para seleccionar sólo los textos consolidados. Dichos textos contienen todas las disposiciones, datos sobre su procedencia y sucesivas modificaciones y correcciones.

Análisis del marco legal para bioenergía en México

El análisis de la legislación se realizó aplicando el modelo implementado por la FAO (2009) para marcos legales de bioenergía, con el objetivo de determinar los factores que pueden tener injerencia en el desarrollo de un marco regulatorio de

biocombustibles con capacidad para promover el desarrollo y comercialización de biorrefinerías en México.

Un análisis completo del marco legal requeriría revisar exhaustivamente las siguientes categorías de normas:

1. En relación con los artículos 42, 43, 44 y 48 constitucionales, se distingue entre:
 - 1.1. Leyes ordinarias.
 - 1.2. Leyes reglamentarias (reglamentos).
 - 1.3. Normas individualizadas (por ejemplo, testamentos, contratos, resoluciones judiciales y administrativas) cuya vigencia geográfica es la Ciudad de México y zonas específicas.
2. En un segundo nivel, se ubican:
 - 2.1. Constituciones estatales.
 - 2.2. Leyes ordinarias.
 - 2.3. Leyes municipales.
 - 2.4. Normas individualizadas vigentes en los respectivos estados de la federación y “aquellas islas sobre las que hasta la fecha hayan ejercido jurisdicción” dichos estados.

Debemos advertir que el alcance de nuestro artículo está limitado a la revisión de las categorías 1.1

y 1.2 (leyes ordinarias y reglamentarias federales). Aunado a lo anterior, el análisis del marco legal se abocó a la identificación de debilidades, desafíos y oportunidades de leyes federales y reglamentos selectos en materia de bioenergía de acuerdo con los temas propuestos por la FAO (2009): a) instrumentos económicos y de mercado; b) garantías socioeconómicas y ambientales; c) marco institucional y participación pública, y d) vínculos con el comercio internacional y financiamiento del carbono.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Marco legal de bioenergía en México

En la revisión del marco legal en México (**Cuadro I**) no se encontraron leyes que mencionen la tecnología de BRF, por lo cual la búsqueda se enfocó a la revisión de instrumentos regulatorios que promueven la generación de bioenergías. Se decidió este curso de acción porque las bioenergías son componentes cruciales de casi todo tipo de BRF basadas en residuos (Poggi-Varaldo et al. 2014). Siguiendo esta línea, la revisión de los instrumentos regulatorios se enfocó principalmente a temas relacionados con el cambio climático, residuos y bioenergía.

CUADRO I. INSTRUMENTOS REGULATORIOS DE BIOENERGÍA EN MÉXICO.

Año	Instrumento regulatorio
2019	Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 (DOF 2019). Uno de sus objetivos es el rescate del sector energético mediante el desarrollo sostenible, incorporando la producción de energía con fuentes renovables en las poblaciones y comunidades, así como la implantación de sistemas de energía renovable (véase el anexo 8).
2018	Programa Nacional de Prevención y Gestión Integral de Residuos 2017-2018 (SEMARNAT 2018). Tiene por objeto cumplir con los derechos y obligaciones de la agenda internacional correspondientes al manejo integral de los RSU.
2015	Ley de transición energética (SENER 2015). Regula y promueve el aprovechamiento sostenible de la energía y la reducción de emisiones contaminantes, así como el aprovechamiento energético de recursos renovables y de los residuos.
2012	Ley General de Cambio Climático (SEMARNAT 2012). Tiene por objetivo disminuir los GEI mediante acciones que promuevan el desarrollo de infraestructura para minimizar y valorizar los RSU.
2008	Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos (SENER 2008). Define y establece la producción, almacenamiento y comercialización de bioenergía, como etanol anhidro y biodiésel.
2003	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (SEMARNAT 2003a). Tiene la facultad de enunciar y administrar la política nacional de los RSU.
1976	Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (DOF 1976). Establece que es responsabilidad de la Secretaría de Energía coordinar la política energética nacional, así como la planeación energética a mediano y largo plazo, la disminución de impactos ambientales derivados del consumo de energía y la promoción de energías renovables.
1917	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (DOF 1917). Establece que corresponde al Estado planear y orientar la actividad económica nacional de manera sostenible.

En México se han generado diversos instrumentos regulatorios de control por medio de leyes, decretos y reglamentaciones, con la finalidad de establecer políticas de desarrollo sostenible. Tal es el caso de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (véase el anexo 1 en el material suplementario), la cual ha sufrido múltiples modificaciones desde su emisión. Tal es el caso de los artículos 25 y 26 (el artículo 25 ha sufrido ocho modificaciones y el artículo 26 nueve), en los cuales se establece que corresponde al Estado planear y orientar la actividad económica nacional de manera sostenible. Otro antecedente importante es la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) promulgada en 2003, la cual tiene la facultad de enunciar y administrar la política nacional de los RSU, y también elaborar el Plan Nacional de Prevención y Gestión Integral de los residuos (PNPGIR; véase el anexo 8) (SEMARNAT 2003a), cuyo objetivo es implementar una política integral que vincule el cuidado del ambiente con una economía competitiva basada en el aprovechamiento energético de los RSO (SEMARNAT 2018).

Con el objetivo de favorecer el desarrollo sostenible y la diversificación energética, en 2008 fue publicada la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB, anexo 3), en cuyo artículo 1, fracciones I y II, establece las bases para i) favorecer la generación de insumos necesarios para la fabricación de bioenergéticos sin comprometer la seguridad alimentaria de México, y ii) apoyar al sector rural mediante la generación, venta y uso sostenible de los bioenergéticos.

Por su parte, respecto de la reducción de emisiones en el sector residuos, la Ley General de Cambio Climático (LGCC) de 2012, establece en su artículo 34, fracción IV, inciso “a”, que se debe “Desarrollar acciones y promover el desarrollo y la instalación de infraestructura para minimizar y valorizar los residuos, así como para reducir y evitar las emisiones de metano provenientes de los residuos sólidos urbanos” (SEMARNAT 2012). La LGCC (véase el anexo 4) tiene como meta reducir los GEI un 30 % para 2020 y 50 % para 2050, en relación con el año 2000, y alcanzar el 35 % de producción de electricidad a partir de energías sostenibles para 2024.

La abrogada Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) de 2012 tenía como objetivo “Regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición

energética, así como la reducción de la dependencia de los hidrocarburos como fuente primaria de energía” (SENER 2012). Esta disposición fue sustituida por la Ley de Transición Energética (anexo 5) de diciembre de 2015, de acuerdo con el proceso legislativo basado en los artículos 71 y 72 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, por lo que carece de efecto jurídico.

Es importante resaltar que a partir de la LAERFTE fue creado el Reglamento Interno de la Comisión Intersecretarial para el Desarrollo de los Bioenergéticos, cuyo artículo 8 regula la creación de una comisión conformada por los titulares de las secretarías de Hacienda, Economía y Energía, así como de la SAGARPA (actualmente SADER) y la SEMARNAT, con el propósito de: i) monitorear la implementación de la ley; ii) participar en la redacción de programas de la producción y comercialización de cultivos, así como en la cadena de operaciones (desde producción hasta comercialización y uso) de bioenergía; iii) establecer los principios para la celebración de acuerdos entre los distintos niveles de gobierno; iv) establecer las bases para la acción concurrente del sector privado en la implantación de la ley, los programas y medidas relacionadas; v) promover las agroindustrias mediante, entre otras, la aplicación eficiente de las tecnologías en la generación y venta de bioenergía, y vi) evaluar varios programas de apoyo (SENER 2008).

Otra ley que tiene por objetivo administrar y evaluar la política energética del país, dando prioridad tanto al aprovechamiento y uso eficiente de la energía como al cuidado del ambiente, es la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (LOAPF) con la reforma de 2019 (artículo 33) (DOF 1976, DOF 2019).

Marco legal de biorrefinerías en la Unión Europea

La búsqueda de las legislaciones en la UE se realizó a través de la página EUR-Lex. Se encontraron 38 documentos publicados en el Diario Oficial de la Unión Europea, de los cuales cuatro son textos consolidados, publicados desde 2006 hasta 2014. La descripción de los textos consolidados se muestra en el **cuadro II**, donde se observa que destacan los enfoques de investigación e innovación, importación de productos, promoción del uso de energía de recursos renovables y presupuesto.

Marco legal de biorrefinerías en los Estados Unidos de América

En el **cuadro III** se observa que desde el año 2000 se han emitido 19 leyes que refieren el término de BRF en el ámbito de inversión, independencia

CUADRO II. MARCO LEGAL DE BIORREFINERÍAS EN LA UNIÓN EUROPEA (TEXTOS CONSOLIDADOS).

Instrumento Regulatorio	Descripción	Año
Reglamento (UE) N°1291/2013 (UE 2013a)	Programa marco de investigación e innovación (2014-2020). Su objetivo es promover la creación de bioindustrias sostenibles y competitivas. Las actividades se centrarán en el fomento de la bioeconomía basada en el conocimiento, transformando los procesos y productos industriales convencionales a eficientes, mediante el desarrollo de biorrefinerías integradas de segunda generación o de generaciones subsiguientes. También contempla la optimización del uso de la biomasa procedente de la producción primaria, los biorresiduos y los subproductos de la bioindustria, y la apertura de nuevos mercados.	2014
Reglamento (UE) No 560/2014 (UE 2014)	Referente a la empresa común para las bioindustrias. Uno de sus objetivos es acelerar la transición de la UE hacia una bioeconomía, mediante la construcción de biorrefinerías que procesen biomasa para obtener una gama de productos innovadores y en particular establecer biorrefinerías que utilicen tecnologías y modelos de negocio para biomateriales, sustancias químicas y combustibles, que demuestren mejoras de costo y rendimiento a niveles competitivos frente a las alternativas fósiles.	2014
Decisión 2013/743/EU (UE 2013b)	Programa específico por el que se ejecuta Horizonte 2020 Programa Marco de Investigación e Innovación (2014-2020). Tiene como propósito acelerar la conversión de las industrias europeas basadas en combustibles fósiles a industrias con bajas emisiones de carbono, eficientes y sostenibles, mediante el desarrollo de biorrefinerías integradas, y alcanzar la madurez comercial de las tecnologías de bioenergía más prometedoras para facilitar la producción sostenible a gran escala de biocombustibles avanzados de diferentes cadenas de valor, aplicados a los sectores transporte, electricidad y gas ecológico generados a partir de biomasa y residuos. También apoya actividades que impulsen bioproductos (de productos de alto valor añadido) y bioenergías.	2013
Decisión 1982/2006/CE (UE 2006)	Relativa al Séptimo Programa Marco de la Comunidad Europea para acciones de investigación, desarrollo tecnológico y demostración (2007 a 2013). Su propósito es desarrollar una bioeconomía europea basada en el conocimiento científico e industrial, con el objetivo de explotar oportunidades de investigación emergentes que aborden retos sociales, ambientales y económicos; impulsa actividades referentes a sistemas de cultivo, bioprocesos y BRF.	2006

energética, investigación y desarrollo, y seguridad agrícola. Además, la ley busca promover la creación de empleos y la conservación de la salud y el ambiente a partir de la tecnología de BRF.

ANÁLISIS DEL MARCO LEGAL DE MÉXICO PARA LA BIOENERGÍA

Los resultados muestran que México se encuentra rezagado en el marco legal de BRF respecto a los EUA y la UE. Si bien la legislación respectiva de la UE no está completamente desarrollada (cuatro leyes), está más avanzada que la de México (una ley) (SENER 2008, UE 2006, 2013, 2014). El **cuadro IV** reúne las contribuciones de los bioenergéticos más importantes, como bioetanol, biodiésel y biogás, en unidades de peta Joules (PJ) por año (1 peta = 1015).

Como no es equitativo comparar la producción de bioenergéticos de toda una región con la de un sólo país, se hizo un promedio de la producción por país europeo, dividiendo los totales de cada bioenergético de la UE entre 27 (número de países que conforman la UE). Es un promedio reducido, pero es más equitativo que comparar los datos de México contra el total de la UE.

Puede observarse que la producción de bioetanol de la UE (promedio por país) aventaja a la de México por un factor de 12.6, mientras que el factor en el caso de biodiésel es de 5.8. Sin embargo, México aventaja a la UE en la producción de biogás, por un factor de al menos 4.4. Si consideramos los sub-totales de bioenergéticos en forma horizontal, las producciones son de 21.0 y 4.86 PJ/año para la UE en promedio por país y México, respectivamente, con un factor de ventaja de 4.3 a favor de la UE.

CUADRO III. MARCO LEGAL SOBRE TECNOLOGÍA DE BIORREFINERÍAS EN ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA.

Año	Instrumento regulatorio
2018	Ley Pública 115-334, tiene por objetivo prever la reforma y continuación de los programas agrícolas y de otro tipo del Departamento de Agricultura hasta el año fiscal 2023 y para otros fines.
2017	Ley Pública 115-31, establece las apropiaciones consolidadas para el año y para otros fines.
2016	Ley Pública 114-113 Ley de Asignaciones Consolidadas Hacer asignaciones para la construcción militar, el Departamento de Asuntos de Veteranos y agencias relacionadas para el año fiscal que termina el 30 de septiembre de 2016 y para otros propósitos.
2015	Ley Pública 113-235. Ley de Apropiaciones Consolidadas y Continuas Establece créditos consolidados para el año fiscal y para otros fines.
2014	Ley Pública 113-79. Ley de agricultura Tiene por objeto prever la reforma y continuación de los programas agrícolas y de otro tipo del Departamento de Agricultura hasta el año fiscal 2018 y para otros fines.
2014	Ley Pública 113-76. Ley de asignaciones consolidadas Rescinde los fondos CCC especificados de los saldos no comprometidos para la asistencia de biorrefinerías.
2013	Ley Pública 113-6 Ley de Apropiaciones Consolidadas y continuas Establece apropiaciones y otras asignaciones continuas para el año fiscal que finaliza y para otros fines.
2012	Ley Pública 112-240. Tiene por objeto ayudar al contribuyente estadounidense.
2012	Ley Pública 112-55. Ley de Apropiaciones Consolidadas y continuas Establece asignaciones consolidadas para los Departamentos de Agricultura, Comercio, Justicia, Transporte y Vivienda y Desarrollo Urbano.
2010	Ley Pública 111-80. Ley de Apropiaciones para la Agricultura, el Desarrollo Rural, la Administración de Alimentos y Medicamentos y las agencias relacionadas.
2010	Ley Pública 111-212. Ley de asignaciones suplementarias.
2009	Ley Pública 111-5. Establece asignaciones suplementarias para la preservación y creación de empleo, inversión en infraestructura, eficiencia energética y ciencia, asistencia a los desempleados y estabilización fiscal estatal y local.
2008	Ley Pública 110-246. Define la conservación de los alimentos y de la energía. Aumentar la independencia energética, promover la conservación de recursos, la salud pública y el ambiente; diversificar los mercados de productos agrícolas y forestales y material de desecho agrícola; y crear empleos y mejorar el desarrollo económico de la economía rural.
2008	Ley Pública 110-289. Ley de Vivienda y Recuperación Económica.
2008	Ley Pública 110-234. Establece la conservación de los alimentos y de la energía.
2007	Ley Pública 110-140. Establece la Seguridad e Independencia Energética y promover la investigación.
2005	Ley Pública 109-58. Ley de política energética. Referente a la Ley de investigación y desarrollo sobre hidratos de metano de 2000; Ley de investigación y desarrollo del carbón de 1960; Ley federal de investigación y desarrollo de la energía no nuclear de 1974. Tiene por objeto garantizar empleos para un futuro con energía segura, asequible y confiable.
2002	Ley Pública 107-171. Ley de Seguridad Agrícola e Inversión Rural. Tiene por objeto asegurar la continuidad de programas agrícolas hasta el año fiscal 2007 y para otros fines.
2000	Ley Pública 106-224. Ley de protección contra riesgos agrícolas.

CUADRO IV. PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN LA UNIÓN EUROPEA Y MÉXICO.

País o región	Bioetanol (PJ/año)	Biodiésel (PJ/año)	Biogás (PJ/año)	Año
Unión Europea	432	118	< 20	2010
Unión Europea, promedio por país ^a	16	4.37	< 0.65	2010
México	1.271	0.75	2.84	2017, 2020

^aPromedio por país de la UE dividiendo los totales entre el número de países (27) que conforman esa entidad. Elaboración propia con datos de CEDRSSA (2020), IRENA (2018), SADER (2017) y SENER (2020).

Curiosamente, este factor de 4.3 está cercano a la razón de leyes 4/1, aunque este resultado es probablemente casual y no debe tomarse en cuenta.

Es muy probable que la diferencia de producción de bioenergéticos no solamente se deba a la diferencia entre el estatus legal sobre estos productos, sino también a otros factores como barreras relacionadas con aspectos ambientales, técnicos, económicos, logísticos, sociales y legislativos (Alibardi et al. 2020). Es decir, muy posiblemente, el relativo rezago de producción de biocombustibles y la relativamente baja producción de biocombustibles y poca presencia de biorrefinerías en México pueda ser un problema multifactorial, en que el rezago del marco legal puede ser un factor importante o dominante pero no único.

Sin embargo, hay estudios internacionales que ligan el importante vínculo entre el dúo marco legal-biocombustibles y biorrefinerías (Centro Mario Molina 2010, Bautista et al. 2016, Espinoza-Pérez et al. 2017, OECD 2017).

Para establecer una estructura de gobernanza de biocombustibles es necesario un marco regulatorio coherente, que considere barreras sociales, ambientales y económicas relevantes como la base para la producción de biocombustibles (Wang 2011). Por esta razón se puede inferir que la generación de legislaciones de BRF favorecerán el desarrollo y producción de biocombustibles, tal y como ha ocurrido en la UE y en EUA (consúltese una discusión más detallada en los anexos 10 y 12). Se analizó el marco regulatorio de México para la bioenergía, de acuerdo con los temas propuestos por la FAO, mencionados previamente en la metodología.

Instrumentos económicos y de mercado

El desarrollo de un mercado interno para biocombustibles requiere de instrumentos económicos y de mercado sólidos, tales como objetivos y especificaciones de mezclado obligatorios para los biocombustibles, además de mecanismos fiscales

como incentivos, créditos, fondos y subsidios (FAO 2009). Dichos instrumentos tienen el potencial de impulsar el desarrollo, la investigación y la innovación de tecnologías dirigidas a la producción de bioenergéticos (FAO 2009).

En el **cuadro V** se exhiben los instrumentos legales referentes a bioenergía en México respecto a los instrumentos económicos y de mercado. Puede observarse que la LPDB (SENER 2008) tiene el propósito de establecer un programa sobre la introducción de bioenergía para el consumo por medio de la SENER, el cual debe incluir el marco temporal para incluir la oxigenación de la gasolina con etanol y biodiésel (artículo 12). Adicional, la LPDB establece la conformación del fondo de bioenergía, con el objetivo de subsidiar el costo y precio de venta de los bioenergéticos; aunado a esto, la ley concede el poder a la SENER para otorgar los permisos necesarios referentes a la producción de todas las formas de bioenergía.

La LAERFTE (SENER 2012), abrogada el 24 de diciembre de 2015, fue un antecedente importante y complementó en su momento a la LPDB, ya que incluyó incentivos para cubrir las diferencias de costos entre la producción de fuentes renovables de energía y la energía proveniente de fuentes convencionales, además de contar con un fondo para tecnologías emergentes, con el propósito de desarrollar tecnologías específicas de alto costo para la generación de electricidad en conexión con la red eléctrica (artículo 18). Afortunadamente, en el reglamento de la LPDB también hay elementos referentes al consumo de la bioenergía e incentivos para apoyar un mercado de ésta en México.

El artículo 8 del capítulo III (Coordinación de los órdenes de gobierno y concurrencia de los sectores social y privado) establece que las dependencias y entidades concertarán convenios con el objeto de implementar instrumentos, mecanismos y acciones requeridas para el desarrollo de los bioenergéticos

CUADRO V. ANÁLISIS DEL MARCO LEGAL DE BIOENERGÍA EN MÉXICO CON RELACIÓN A INSTRUMENTOS ECONÓMICOS Y DE MERCADO.

Instrumento legal	Análisis respecto a instrumentos económicos y de mercado
Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (SENER 2008)	Crea la Comisión de Bioenergéticos con la finalidad de especificar las regulaciones respecto a la producción y comercialización y uso eficiente de bioenergéticos (artículo 8), así como la ley del Programa de Introducción de Bioenergéticos (artículo 12), el cual tiene por objetivo integrar el biodiesel y el etanol (como componente de la gasolina), al consumo, así como las especificaciones de producción, transporte y comercialización. Sin embargo, esta ley no contiene objetivos obligatorios ni requerimientos para promover la creación de un mercado interno de bioenergía.
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (SEMARNAT 1988)	Faculta al Gobierno Federal y a las autoridades estatales para formular incentivos económicos y alentar el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental que aplique en su caso (véase el anexo 11)..
Ley del Impuesto sobre la Renta (DOF 2013)	Establece que la SENER es responsable de regular y promover el desarrollo y uso de fuentes de energía renovables y proponer los estímulos correspondientes (artículo 33).
Ley Orgánica de la Administración Pública (DOF 1976)	Impulsa proyectos de fuentes de energía renovable y promueve incentivos para la operación o mantenimiento de maquinaria para su producción.
Ley de Desarrollo Rural Sustentable (SAGARPA 2001)	Establece una serie de fondos para el uso de fuentes de energía renovables: Fondo Verde, Fondo para Tecnologías Emergentes, Fondo para Electrificación Rural, Fondo de Bioenergía.

y de insumos para incentivar la participación de los sectores privado y social. Por su parte, el artículo nueve enmarca puntos importantes del artículo ocho, para garantizar que la ejecución de pactos se dirija a la consecución de los fines previamente descritos, entre los que destacan: el impulso a los empresarios con el propósito de favorecer la fundación y consolidación de empresas nacionales que tendrán como finalidad captar inversionistas para promover el comercio de insumos y de bioenergéticos; el desarrollo de un sector rural preparado, moderno y competitivo que tenga la capacidad de producir y comercializar eficientemente insumos y bioenergéticos, y el estímulo a la adquisición de bioenergéticos dentro del sector gubernamental, entre otros. El artículo 12 del capítulo IV (de la Comisión Intersecretarial para el Desarrollo de los Bioenergéticos) habilita a la Comisión de Bioenergéticos para establecer una estrategia que permita la coordinación entre dependencias y organismos, incentive el comercio de bioenergéticos e insumos de manera sostenible, y favorezca la seguridad alimentaria y energética. Sin embargo, este capítulo debería tener un contenido más detallado y ofrecer pautas a la Comisión de Bioenergéticos para desarrollar mercados de insumos y de bioenergéticos.

La LAERFTE, abrogada el 24 de diciembre de 2015, también proponía en su artículo 24 fracción VII la fundación de fideicomisos y fondos con el objeto de

apoyar el desarrollo tecnológico y científico en materia de fuentes renovables de energía (SENER 2008).

Por su parte, el artículo 82 la LGCC promueve fondos para el desarrollo y ejecución de proyectos encaminados a la producción de bioenergéticos de segunda generación y a la promoción de fuentes renovables de energía (SEMARNAT 2012).

Cabe mencionar que, respecto al establecimiento de precios de los biocombustibles, no se encontró mención alguna en la legislación revisada.

Garantías ambientales

Para realizar el análisis del marco legal de bioenergía en México referente a garantías ambientales (**Cuadro VI**), se revisaron las disposiciones generales de protección al ambiente y la evaluación tanto de impacto ambiental como de protección a bosques y áreas biodiversas contenidas en la legislación de bioenergía.

Uno de los objetivos principales de la LPDB es el cuidado del ambiente. Los aspectos relacionados con impactos ambientales generados por la producción de bioenergía son conferidos a la SENER (2008).

Por su parte, la LTE (SENER 2015) estipula en los artículos 1 y 2 la regulación y el uso sostenible de la energía, mediante la valorización energética de recursos renovables y residuos. También establece en el artículo 5 que se deben generar estrategias que contengan medidas y políticas para incentivar el aprovechamiento energético de recursos renovables para producción de energía, sustituyendo a los combustibles fósiles.

CUADRO VI. ANÁLISIS DEL MARCO LEGAL DE BIOENERGÍA EN MÉXICO RESPECTO A GARANTÍAS AMBIENTALES.

Instrumento legal	Análisis respecto a garantías ambientales
Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (SENER 2008)	La Ley claramente expone sus preocupaciones respecto al cuidado del medio ambiente. Promueve el desarrollo sostenible de la producción y comercialización y el uso eficiente de bioenergéticos (artículo 15). También hace referencia a procedimientos para evaluar el impacto ambiental, contenidos en la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección del Medio Ambiente y la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados.
Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (SEMARNAT 2003b)	Tiene por objetivo la conservación forestal a través de la protección y el uso sostenible, al tiempo que mantiene y promueve la restauración de su diversidad e integridad.
Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (DOF 1976)	Establece que corresponde a la SENER regular y promover el desarrollo y uso de fuentes de energía renovables con el objetivo de reducir los impactos ambientales derivados de la producción y consumo de energía (artículo 33).
Ley de Transición Energética (SENER 2015)	Tiene como objetivo regular el aprovechamiento sostenible de la energía (artículo 1), mediante el aprovechamiento energético de recursos renovables y de los residuos (artículo 2), Además de generar estrategias que contengan políticas y medidas para impulsar el aprovechamiento energético de recursos renovables y sustituir los combustibles fósiles (artículo 5).

Análisis del marco legal de bioenergía en México con relación a garantías sociales, marco institucional y participación pública

Se realizó un análisis del marco legal de bioenergía en México a partir de las garantías sociales (**Cuadro VII**) con base en temas de empleo, desarrollo rural, seguridad alimentaria, gestión y planificación del uso de la tierra. En este ámbito, la LPDB (SENER 2008) busca la sinergia entre las economías agrícola y energética. Mediante la protección de la seguridad alimentaria, así como el fomento a las actividades de los actores del campo, procura aumentar las oportunidades de empleo y mejorar la calidad de vida (artículo 1). La ley también estipula que no se deben realizar cambios en el uso de la tierra para cultivo de energéticos (SENER 2008).

A su vez, la ley establece que la producción de biocombustibles no debe alterar el equilibrio del ecosistema, por lo cual establece la obligación de realizar prácticas de restauración e implementa un sistema de permisos que facilite las acciones y servicios relacionados con la cadena de bioenergía (desde su producción hasta su comercialización) (véase el anexo 3).

Para garantizar la legitimidad del marco legal de bioenergía en México y la cooperación interinstitucional, es necesaria la implementación coordinada de las leyes sectoriales, así como la transparencia de las actividades (FAO 2009). En este contexto, la LPDB (SENER 2008), proporciona un marco institucional de apoyo a las actividades de bioenergía, en conjunto con la Comisión Intersecretarial para el Desarrollo Rural Sostenible, el Comité del Sector Energético sobre Cambio Climático

y el Consejo Consultivo para el Mejoramiento de las Energías Renovables.

La LPDB (SENER 2008) estipula que la SENER desarrollará y coordinará la ejecución del Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables, además de elaborar el Inventario Nacional de las Energías Renovables (artículo 6). De acuerdo con la ley, la Secretaría de Economía y la SENER, definirán en conjunto las políticas y acciones que fomenten la integración nacional que permita el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía (artículo 9).

Vínculos con el comercio internacional y el fondo de carbono

De acuerdo con la LPDB, la SENER es la responsable del cumplimiento de las obligaciones relacionadas con el aprovechamiento de energías renovables y el cambio climático en el ámbito internacional pactadas por México (SENER 2008). A su vez, el Ejecutivo Federal establecerá por su parte políticas para gestionar los recursos necesarios para la mitigación del cambio climático (artículo 31).

Por su parte, la LTE estipula en su artículo 10 que, con relación a la LPDB, deben existir vínculos entre la SENER, la Comisión Reguladora de Energía, el Centro Nacional de Control de Energía, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía y el Consejo Consultivo para la Transición Energética (SENER 2015). La LTE es responsable de emitir los mandatos necesarios para el desarrollo eficiente (económicamente viable) de la generación de energía eléctrica con base en energías limpias (SENER 2015).

CUADRO VII. ANÁLISIS DEL MARCO LEGAL DE BIOENERGÍA EN MÉXICO CON RELACIÓN A GARANTÍAS SOCIALES, MARCO INSTITUCIONAL Y PARTICIPACIÓN PÚBLICA.

Instrumento legal	Análisis respecto a garantías sociales, marco institucional y participación pública
Ley para la Promoción y el Desarrollo de la Bioenergía (SENER 2008)	Uno de los principales objetivos de esta ley es la protección de la seguridad alimentaria, así como estimular las actividades del sector rural, generar empleo y mejorar la calidad de vida de la población (artículo 1). Además, tiene por objetivo establecer estrategias y promover proyectos a partir de fuentes renovables de energía que suministren energía eléctrica a comunidades rurales (artículo 11), así como promover el mejoramiento social de las comunidades mediante el desarrollo rural sostenible, la protección del medio ambiente y los derechos agrarios (artículo 21). Establece que la producción de biocombustibles no debe realizar cambios en el uso de la tierra para cultivo de energéticos y se deben realizar prácticas de restauración. Establece un sistema de permisos para llevar a cabo actividades y servicios relacionados con la producción, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de bioenergía. Proporciona un marco institucional de apoyo para las actividades de bioenergía, como la Comisión Intersecretarial para el Desarrollo Rural Sostenible, el Comité del Sector Energético sobre Cambio Climático y el Consejo Consultivo para el Mejoramiento de las Energías Renovables.

FORTALEZAS Y DEBILIDADES DEL MARCO LEGAL DE BIOENERGÍAS EN MÉXICO

Es necesario analizar las limitantes regulatorias, institucionales, sociales y culturales, de acuerdo con los temas expuestos en las secciones anteriores (**Cuadro VIII**), con la finalidad de desarrollar un marco legal que garantice la calidad de las bioenergías y bioproductos e impulse el desarrollo de mercados y tecnologías en esta materia. Esto constituye un punto importante para México que debe ser atendido, dado que la demanda energética aumentará significativamente en los siguientes años, pues se proyecta un incremento de casi un 70 % en el periodo 2010-2030 (IRENA 2015).

Los objetivos nacionales respecto a bioenergía no han sido alcanzados, ya que México tenía como objetivo nacional producir 748 MW de bioenergía para 2018 (IRENA 2015) y, de acuerdo con datos del IRENA, en ese año sólo se generaron 300 MW de bioenergía a partir de biogás y biocombustibles sólidos. La generación de electricidad a partir de biomasa ha sido exclusiva del sector privado, y se produce mediante procesos de combustión de bagazo de caña y biogás de diferentes orígenes (Pérez-Denicia et al. 2017). Por su parte, el biodiésel es generado a partir de aceites usados y grasas debido principalmente a los altos costos del proceso (SEMARNAT 2020). Se estima que el total de fuentes renovables de energía crecerá sólo del 4.4 % (0.2 EJ) en 2010 al 10 % (0.74 EJ) en 2030, sin contemplar energías con tratamiento de biomasa (IRENA 2015).

En consecuencia, el desarrollo y comercialización de biocombustibles es indispensable para

México; sin embargo, la producción de estos productos sólo podrá implementarse de manera sostenible si puede hacerse frente a las barreras sociales, ambientales, culturales, institucionales, legales y financieras (FAO 2000).

El análisis del marco legal de bioenergía en México muestra fortalezas en el ámbito de los mecanismos fiscales, tales como incentivos financieros y fiscales en la generación de energía eléctrica basada en fuentes renovables de energía. No obstante, son necesarios apoyos especiales a los biocombustibles obtenidos a partir de residuos, como sucede en la UE y en EUA (IRENA 2013).

Dado que la investigación, producción y comercialización de la tecnología de BRF en México requiere del desarrollo de un Marco Legal que tome en cuenta factores socioeconómicos y ambientales, y depende de éste, herramientas como la evaluación del ciclo de vida permitirían analizar estos aspectos, favoreciendo la coordinación entre los actores responsables de la estrategia energética nacional (Wang 2011, IRENA 2013).

Una muestra del rezago en la aplicación del marco legal es el lento desarrollo de las fuentes renovables de energía en México, ya que en 2015 se estimaba un crecimiento del 10 % (0.74 EJ) para 2030 (IRENA 2015). Por su parte, la Secretaría de Energía, en su Reporte anual de potencial de mitigación de GEI del sector eléctrico (SENER 2019), mencionaba que se contempla alcanzar un 35 % de fuentes de energía limpia en 2024 y un 43 % en el 2030, así como rehabilitar las plantas de generación de energía, minimizar pérdidas en la red eléctrica y usar gas natural en lugar de combustibles fósiles pesados.

CUADRO VIII. MARCO LEGAL DE BIORREFINERÍAS EN MÉXICO.

Legislación que requiere revisión	Fortalezas/situación actual de la legislación	Debilidades/ áreas de oportunidad
Ley para la Promoción y el Desarrollo de la Bioenergía (SENER 2008)	Establece el Fondo de Bioenergía con el objetivo de subsidiar el costo de precio y venta de los bioenergéticos. Estimula las actividades del sector rural para generar empleo y mejorar la calidad de vida de la población. Establece que la producción de biocombustibles no debe alterar el equilibrio del ecosistema ni generar cambios en el uso de la tierra para cultivo.	No menciona objetivos obligatorios para promover un mercado interno para la bioenergía ni para establecer un sistema de permisos respecto a la producción, almacenamiento, transporte y comercialización de bioenergía. También son necesarias certificaciones de calidad que regulen la producción de biocombustibles.
Ley de Transición Energética (SENER 2015)	Menciona que se deben generar estrategias que contengan políticas y medidas para impulsar el aprovechamiento energético de recursos renovables y residuos, de tal manera que sustituyan a los combustibles fósiles (artículo 5).	No profundiza ni menciona específicamente estrategias y políticas obligatorias.
Ley General del Cambio Climático (SEMARNAT 2012)	Menciona que se destinarán fondos al desarrollo y ejecución de proyectos relacionados con eficiencia energética, desarrollo de energías renovables y bioenergéticos de segunda generación (artículo 82).	No menciona acciones específicas para el desarrollo de infraestructura de bioenergéticos.

Es evidente que existen diferencias en las políticas energéticas entre los países analizados. En México se ha priorizado la producción de energía y combustibles a partir de recursos fósiles, a expensas de la generación de energía de fuentes renovables por empresas privadas, mientras que la UE y EUA han mostrado un mayor interés en el desarrollo de fuentes de energía renovables y limpias (G7 2015, UNFCCC 2015, Bazán et al. 2020).

Si bien la construcción de nuevas refinerías de petróleo en México es una acción necesaria para sanear la economía y alcanzar la autosuficiencia nacional de gasolinas y diésel, el desarrollo de fuentes de energía renovables no debiera contraponerse a la consecución de la soberanía energética. Hasta el momento la producción de biocombustibles en el país ha sido limitada. En fechas recientes se produjeron 54 millones de litros de etanol y fueron importados 179 millones de litros, principalmente provenientes de EUA (CEDRSSA 2020).

Respecto a la UE y EUA, en junio de 2015, el G7 estableció un plan con la finalidad de eliminar gradualmente los combustibles fósiles para fines de este siglo. El texto del G7 (2015) pedía una reducción lo más cercana posible a un 70 % de las emisiones en el periodo 2010-2050, en línea con los objetivos generales del Acuerdo de París de la COP21, del cual México forma parte.

De acuerdo con lo expuesto en este trabajo, existe un rezago en la legislación de BRF en México, por lo cual es necesario realizar acciones para la consolidación de un marco legal sólido de bioenergía y alcanzar la independencia energética mediante el desarrollo de:

Leyes que incentiven el desarrollo de la industria de bioenergéticos.

Objetivos claros respecto a la introducción de bioenergéticos (etanol y biodiésel) en el sector del transporte.

Leyes que den certeza a inversionistas para la creación de un mercado estable para las bioindustrias.

CONCLUSIÓN

El análisis comparativo de las legislaciones realizado en este trabajo exhibe un rezago del marco legal existente en México relativo a la tecnología de BRF, en contraste con el marco legal presente en EUA y la UE, donde el número de legislaciones referentes a la tecnología de BRF ha ido en aumento desde 1999.

La evaluación de los instrumentos legales existentes en México relacionados con la generación de biocombustibles y bioenergías permitió identificar que para desarrollar un marco legal sólido de bioenergía en México se deben incluir objetivos

claros respecto de la introducción de bioenergéticos (etanol y biodiésel) en el sector del transporte, además de contemplar incentivos que apoyen el desarrollo del mercado de bioenergéticos.

Con el propósito de contribuir a un mejor aprovechamiento de los RSO, reducir los GEI y eventualmente propiciar la independencia energética de México, es necesario un marco legal de BRF con la capacidad de apoyar la producción y comercialización de biocombustibles y bioproductos.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Dr. Carlos Escamilla-Alvarado (editor), al M. en E. Claudio M. Amescua-García (editor ejecutivo), así como a los revisores anónimos de la Revista Internacional de Contaminación Ambiental por su orientación y comentarios, los cuales permitieron mejorar significativamente este trabajo. Alejandra Gabriela Yáñez Vergara agradece al Consejo Nacional de la Ciencia y la Tecnología por la beca de posgrado otorgada para la realización de esta investigación.

ABREVIATURAS

BRF	Biorrefinería
DOF	Diario Oficial de la Federación
CEDRSSA	Centro de Estudios para el Desarrollo Rural y Sustentable y la Soberanía Alimentaria
COP21	Conferencia sobre el Cambio Climático de París (por sus siglas en inglés)
CPEUM	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
DBGIR	Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos
EUR-lex	Legislación de la Unión Europea
FORSU	Fracción orgánica de los residuos sólidos orgánicos
GEI	Gases de efecto invernadero
IRENA	Agencia Internacional de las Energías Renovables (por sus siglas en inglés)
LAERFTE	Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética
LPDB	Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos
LGCC	Ley General de Cambio Climático

LGPGI	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
LOAPF	Ley orgánica de la Administración Pública Federal
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PNPGIR	Programa Nacional de Prevención y Gestión Integral de Residuos
RSO	Residuos Sólidos Orgánicos
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SENER	Secretaría de Energía

REFERENCIAS

- Alibardi L., Astrup T.F., Asunis F., Clarke W.P., De Gioannis G., Dessi R, Lens P.N.L., Lavagnolo M.C., Lombardi L., Muntoni A., Pivato A., Poletti A., Pomi R., Rossi A., Spagni A. y Spiga D. (2020). Organic waste biorefineries: Looking towards implementation. *Waste Manage.* 114, 274-286. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.010>
- Bauer F., Coenen L., Hansen T., McCormick K. y Palgan Y. V. (2017). Technological innovation systems for biorefineries: A review of the literature. *Biofuel. Bioprod. Bior.* 11(3), 534-548. <https://doi.org/10.1002/bbb.1767>
- Bautista S., Enjolras M., Narvaez P, Camargo M. y Morel L. (2016). Biodiesel-triple bottom line (TBL): A new hierarchical sustainability assessment framework of principles criteria & indicators (PC&I) for biodiesel production. Part II-validation. *Ecol. Indie.* 69, 803-817. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.046>
- Bazán G.R., Muñoz G. y Jesús Cuevas J. (2020). Refinería Dos Bocas: riesgos y conjeturas. *Energía y debate* [en línea]. <https://energiaadebate.com/downstream-refineria-dos-bocas-riesgos-y-conjeturas/>
- BIC (2017). Biorefineries in Europe 2017. Mapping European biorefineries. Bio-Based Industries Consortium [en línea], <https://biconsortium.eu/news/mapping-european-biorefineries-5/21/2021>
- Campos-Montiel R.G., Razo-Rodríguez O.E., del Almaraz-Buendía I., Ramírez-Bibriesca E., Soriano-Robles R., Salinas-Martínez J.A., Arias-Margarito L. y González-Muñoz S.S. (2018). Bioconversión de desperdicios vegetales a biogás a partir de microorganismos ruminales. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 34 (1), 149-155. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.13>
- CEDRSSA (2020). La producción y el comercio de los biocombustibles en México y en el Mundo. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Cámara de Diputados, CDMX, México, 28 pp.

- Centro Mario Molina (2010). Los biocombustibles en México [en línea]. https://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2012/05/1.-Los-biocombustibles-en-M%C3%A9xico.-Postura-del-CMM.-2010_final1.pdf 13/05/2021
- Dael M.V., Márquez N., Reumerman P, Pelkmans L., Kuppens T. y Passel S.V. (2014). Development and techno-economic evaluation of a biorefinery based on biomass (waste) streams – case study in the Netherlands. *Biofuel. Bioprod. Biorefin.* 8(5), 635-644. <https://doi.org/10.1002/bbb.1460>
- Demirbas A. (2006). Theoretical heating values and impacts of pure compounds and fuels. *Energ. Source. Part A.* 28 (5), 459-467. <https://doi.org/10.1080/009083190927129>
- Demirbas A. (2010). Biorefinery. En: *Biorefineries. Green energy and technology* (Demirbas A., Ed.). Springer, Londres, 75-92. https://doi.org/10.1007/978-1-84882-721-9_3
- Dincer K. (2008). Lower emissions from biodiesel combustion. *Energ. Source. Part A.* 30 (10), 963-968. <https://doi.org/10.1080/15567030601082753>
- DOF (1917). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Texto vigente [en línea]. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf> 2/02/2021
- DOF (1976). Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. Publicada en el Diario oficial de la Federación el 29 de diciembre de 1976. Ciudad de México, 156 pp.
- DOF (2013). Ley del Impuesto Sobre la Renta. Publicada en el Diario oficial de la Federación el 11 de diciembre de 2013. Ciudad de México, 295 pp.
- DOF (2019). Decreto a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. Publicada en el Diario oficial el 9 de agosto del 2019. Ciudad de México, 62 pp.
- DOF (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de julio de 2019 [en línea].
- Eide A. (2008). The right to food and the impact of liquid biofuels (agrofuels). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [en línea]. <http://www.fao.org/3/ap550e/ap550e.pdf> 05/03/2021
- Espinoza-Pérez A.T., Camargo M., Narváez-Rincón PC. y Alfaro-Marchant M. (2017). Key challenges and requirements for sustainable and industrialized biorefinery supply chain design and management: A bibliographic analysis. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 69, 350-359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.084>
- FAO (2000). The energy and agriculture nexus. Food and Agriculture Organization of the United Nations [en línea]. <https://www.fao.org/3/x8054e/x8054e00.htm> 30/01/2020.
- FAO (2009). Case studies on bioenergy policy and law: Options for sustainability. Food and Agriculture Organization of the United Nations [en línea]. <https://www.fao.org/3/i1285e/i1285e.pdf> 5/07/2020.
- Goldemberg J. (2000). World energy assessment: Energy and the challenge of sustainability. United Nations Development Programme. Nueva York, EUA, 506 pp.
- G7 (2015). Leader's declaration. G7 Germany Summit [en línea]. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/7320LEADERS%20STATEMENT_FINAL_CLEAN.pdf 16/05/2021
- IRENA (2013). Statistical issues: Bioenergy and distributed renewable energy. International Renewable Energy Agency [en línea]. <https://irena.org/publications/2013/Jun/Statistical-Issues-Bioenergy-and-Distributed-Renewable-Energy> 06/11/20.
- IRENA (2015). Renewable energy prospects: Mexico. International Renewable Energy Agency [en línea]. <https://www.irena.org/publications/2015/May/Renewable-Energy-Prospects-Mexico> 09/09/20.
- IRENA (2018). Renewable energy prospects for the European Union. International Renewable Energy Agency [en línea]. <https://www.irena.org/publications/2018/Feb/Renewable-energy-prospects-for-the-EU> 10/05/21.
- Kamm B., Gruber P.R. y Kamm M. (2006). Biorefineries – Industrial processes and products: Status quo and future directions. Vol. 1 Wiley- CH, Weinheim, Alemania, 948 pp.
- Li A., Antizar-Ladislao B. y Khraisheh M. (2007). Bio-conversion of municipal solid waste to glucose for bio-ethanol production. *Bioproc. Biosyst. Eng.* 30 (3), 189-196. <https://doi.org/10.1007/s00449-007-0114-3>
- Mancera A. (2008). Consideraciones durante el proceso comparativo. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado* 1 (121), 213-243.
- Menrad K., Klein A. y Kurka S. (2009). Interest of industrial actors in biorefinery concepts in Europe. *Biofuel. Bioprod. Biorefin.* 3 (3), 384-394. <https://doi.org/10.1002/bbb.144>
- Mohan S.V, Nikhil G.N., Chiranjeevi R, Nagendranatha Reddy C., Rohit M.V, Kumar A.N. y Sarkar O. (2016). Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: Critical review and future perspectives. *Bioresource Technol.* 215, 2-12. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.130>
- Naciones Unidas (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [en línea]. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf> 09/09/2020
- Naciones Unidas (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [en línea]. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf> 9/09/2020

- Naciones Unidas (2015). Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Asamblea General de las Naciones Unidas [en línea]. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/> 10/09/2020.
- Nizami A.S., Rehan M., Waqas M., Naqvi M., Ouda O.K., Shahzad K., Miandad R., Khan M.Z., Syamsiro M., Ismail I.M.I. y Pant D. (2017). Waste biorefineries: Enabling circular economies in developing countries. *Bioresource Technol.* 241, 1101-1117. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.097>
- OECD (2017). Biorefineries models and policy. Working Party on Biotechnology, Nanotechnology and Converging Technologies. Organization para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [en línea]. [https://one.oecd.org/document/DSTI/STP/BNCT\(2016\)16/FINAL/en/pdf/5/05/2021](https://one.oecd.org/document/DSTI/STP/BNCT(2016)16/FINAL/en/pdf/5/05/2021).
- Parajuli R., Dalgaard T., Jorgensen U., Adamsen A.P.S., Knudsen M.T., Birkved M., Gylling M. y Schjorring J.K. (2015). Biorefining in the prevailing energy and materials crisis: a review of sustainable pathways for biorefinery value chains and sustainability assessment methodologies. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 43, 244-263. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.041>
- Parisi C. (2020). Distribution of the bio-based industry in the EU. Publications Office of the European Union [en línea]. <https://doi.org/10.2760/745867>
- Pérez-Denicia E., Fernández-Luqueño F., Vilariño-Ayala D., Montaña-Zetina M. y Maldonado-López A. (2017). Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 78, 597-613. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.009>
- Poggi-Varaldo H.M., Muñoz-Páez K.M., Escamilla-Alvarado C., Robledo-Narváez P.N., Ponce-Noyola M.T., Calva-Calva G., Ríos-Leal E., Galíndez-Mayer J., Estrada-Vázquez C., Ortega-Clemente A. y Rinderknecht-Seijas N.F. (2014). Biohydrogen, biomethane and bioelectricity as crucial components of biorefinery of organic wastes: A review. *Waste Manage. Res.* 32 (5), 353-365. <https://doi.org/10.1177/0734242X14529178>
- Office of the Federal Register (2000). Public Law 106-224. Agricultural Risk Protection Act of 2000. U. S. Government Printing Office, 19 June.
- Office of the Federal Register (2002). Public Law 107-171. Farm Security and Rural Investment Act of 2002. U.S. Government Printing Office, 12 May.
- Office of the Federal Register (2005). Public Law 109-58. Energy Policy Act of 2005. U.S. Government Printing Office, 7 August.
- Office of the Federal Register (2007). Public Law 110-140. Energy Independence and Security Act of 2007. U.S. Government Printing Office, 18 December.
- Office of the Federal Register (2008a). Public Law 110-246. Food, Conservation, and Energy Act of 2008. U.S. Government Printing Office, 17 June.
- Office of the Federal Register (2008b). Public Law 110-289. Housing and Economic Recovery Act of 2008. U.S. Government Printing Office, 30 July.
- Office of the Federal Register (2008c). Public Law 110-234. Food, Conservation, and Energy Act of 2008. U.S. Government Printing Office, 21 May.
- Office of the Federal Register (2009a). Public Law 111-5. American Recovery and Reinvestment Act of 2009. U.S. Government Printing Office, 16 February.
- Office of the Federal Register (2009b). Public Law 111-80. Agriculture, Rural Development, Food and Drug Administration, and Related Agencies Appropriations Act of 2009. U.S. Government Printing Office, 21 October.
- Office of the Federal Register (2010). Public Law 111-212. Supplemental Appropriations Act of 2010. U.S. Government Printing Office, 29 July.
- Office of the Federal Register (2012a). Public Law 112-55. Consolidated and Further Continuing Appropriations Act of 2012. U.S. Government Printing Office, 17 November.
- Office of the Federal Register (2012b). Public Law 112-240. American Taxpayer Relief Act of 2012. U.S. Government Printing Office, 1 January.
- Office of the Federal Register (2013). Public Law 113-6. Consolidated and Further Continuing Appropriations Act of 2013. U.S. Government Publishing Office, 25 March.
- Office of the Federal Register (2014a). Public Law 113-79. Agricultural Act of 2014. U.S. Government Publishing Office, 6 February.
- Office of the Federal Register (2014b). Public Law 113-76. Consolidated appropriations Act of 2014. U.S. Government Publishing Office, 17 January.
- Office of the Federal Register (2015). Public Law 113-235. Consolidated and Further Continuing Appropriations Act, 2015. U.S. Government Publishing Office, 15 December.
- Office of the Federal Register (2016). Public Law 114-113. Consolidated Appropriations Act of 2016. U.S. Government Publishing Office, 17 December.
- Office of the Federal Register (2017). Public Law 115-31. Consolidated Appropriations Act of 2017. U.S. Government Publishing Office, 4 May.
- Office of the Federal Register (2018). Public Law 115-334. Agriculture Improvement Act of 2018. U.S. Government Publishing Office, 19 December.
- SAGARPA (2001). Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Publicada por el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre. Ciudad de México, México, 72 pp.
- SADER (2017). Impulsa SAGARPA producción de biocombustibles en México. Secretaría de Agricultura

- y Desarrollo Rural [en línea]. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/impulsa-sagarpa-produccion-de-biocombustibles-en-mexico?idiom=es> 14/10/2021
- Sadhukhan J., Martínez-Hernández E., Murphy R.J., Ng D.K.S., Hassim M.H., Siew Ng K., Yoke Kin W., Jaye I.F.M., Leung Pah Hang M.Y. y Andiappan, V. (2018). Role of bioenergy, biorefinery and bioeconomy in sustainable development: Strategic pathways for Malaysia. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 81, 1966-1987. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.007>
- SEMARNAT (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicada por el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero. Ciudad de México, México, 128 pp.
- SEMARNAT (2003a). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicada por el Diario Oficial de la Federación el 18 de enero. Ciudad de México, México, 56 pp.
- SEMARNAT (2003b). Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicada por el Diario Oficial de la Federación el 25 de febrero. Ciudad de México, México, 79 pp.
- SEMARNAT (2012). Ley General de Cambio Climático. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicada por el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio. Ciudad de México, México, 64 pp.
- SEMARNAT (2018). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2017-2018. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México, México, 82 pp.
- SEMARNAT (2019). Visión nacional hacia una gestión sustentable: Cero residuos. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México, México, 16 pp.
- SEMARNAT (2020). Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México, México, 274 pp.
- SENER (2008). Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. Secretaría de Energía. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de febrero. Ciudad de México, México, 12 pp.
- SENER (2012). Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. Secretaría de Energía. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de enero. Ciudad de México, México, 11 pp.
- SENER (2015). Ley de Transición Energética. Secretaría de Energía. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de diciembre. Ciudad de México, México, 31 pp.
- SENER (2019). Reporte anual de potencial de mitigación de GEI en el Sector Eléctrico y su metodología. Secretaría de Energía [en línea]. <https://www.gob.mx/sener/es/articulos/reportes-anuales-del-potencial-de-mitigacion-de-gei-en-el-sector-electrico-y-su-metodologia?idiom=es> 5/03/2021
- SENER (2020). Balance Nacional de Energía 2019. Secretaría de Energía [en línea]. <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia-2019> 10/05/2021
- Tarapués V.M., Muñoz L.I.R., Rodas M.H., Ayerbe M.A.G. y Rebellón L.F.M. (2020). Estado de la valorización de biorresiduos de origen residencial en grandes centros urbanos. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 36, 755-774. <https://doi.org/10.20937/RICA.53341>
- UE (2006). Decisión 1982/2006/CE. Relativa al Séptimo Programa Marco de la Comunidad Europea para acciones de investigación, desarrollo tecnológico y demostración (2007 a 2013). Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. Publicada por el Diario Oficial de la Unión Europea el 18 de diciembre.
- UE (2013a). Reglamento (UE) N° 1291/2013. Programa Marco de Investigación e Innovación (2014-2020). Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. Publicada por el Diario Oficial de la Unión Europea el 11 de diciembre.
- UE (2013b). Decisión 2013/743/EU. Por la que se establece el Programa específico por el que se ejecuta Horizonte 2020 Programa Marco de Investigación e Innovación (2014-2020). Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. Publicada por el Diario Oficial de la Unión Europea el 3 de diciembre.
- UE (2014). Reglamento (UE) N° 560/2014 del consejo por el que se establece la Empresa Común para las Bioindustrias. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. Publicada por el Diario Oficial de la Unión Europea el 6 de mayo.
- UNFCCC (2015). Adoption of the Paris agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change [en línea]. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> 12/05/2021
- Wang H. (2011). Building a regulatory framework for biofuels governance in China: Legislation as the starting point. *Nat. Resour. Forum.* 35 (3), 201-212. <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2011.01390.x>

MATERIAL SUPLEMENTARIO

CONTENIDO

	Pág.
ANEXO 1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	2
ANEXO 2. Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	3
ANEXO 3. Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos	5
ANEXO 4. Ley General del Cambio Climático	9
ANEXO 5. Ley de Transición Energética	14
ANEXO 6. Programa Nacional para la Prevención y Gestión integral de los Residuos 2017-2018.	18
ANEXO 7. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018.	21
ANEXO 8. Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024	23
ANEXO 9. Estrategia Nacional de Cambio Climático en México	26
ANEXO 10. Discusión adicional sobre marco legal y biorrefinerías	27
ANEXO 11. Detalles del artículo 28 de la LGEEPA	32
ANEXO 12. Biorrefinerías y su relación con el desarrollo de la legislación correspondiente.	34
ANEXO 13. Contexto de la gestión de residuos en la UE y EUA.	38

ANEXO 1. CONSTITUCIÓN DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) es el primer antecedente en materia de bioenergía en el país (DOF 1917). Si bien en el cuerpo de la CPEUM no se establece el concepto de bioenergía per se, un ejemplo de disposición relevante en esta materia destaca en el artículo 2o, apartado B, fracción VII, donde se establece que los pueblos indígenas tienen autonomía para preservar la integridad de sus tierras. Además, el cultivo de plantas de las que se extraen biocombustibles en tierras de comunidades indígenas dependerá del consentimiento de dichas comunidades.

Por su parte, el artículo 4 aborda el derecho a un ambiente adecuado para los ciudadanos, lo cual implica que el cambio en el uso de la tierra para la producción de biocombustibles podría impactar al ambiente y el bienestar de la población.

Además, en el artículo 25, donde se establecen las bases para un desarrollo nacional sostenible, estipula que es responsabilidad del Estado que la bioenergía

no genere impactos al ambiente, la economía o el desarrollo social de país.

El artículo 27 establece los derechos de propiedad privada, en consecuencia, el Gobierno debe disponer del uso adecuado de la tierra, así como preservar y restaurar el equilibrio ecológico.

ANEXO 2. LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección del Medio Ambiente (LGEEPA), emitida el 28 de enero de 1988, adopta un enfoque de desarrollo sostenible para la protección del ambiente y establece el derecho de toda persona a vivir de manera adecuada en un ambiente que garantice su desarrollo, salud y bienestar (artículo 1o), por lo cual el uso de los recursos naturales renovables debe realizarse de manera que garantice la diversidad de los recursos y la sostenibilidad (artículo 15, fracciones VII y XII).

En la sección III, correspondiente a instrumentos económicos, estipula que el Gobierno federal y las autoridades estatales tienen la tarea de diseñar, desarrollar y aplicar incentivos económicos para alentar el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental dentro de sus respectivas jurisdicciones, además exhorta a otorgar incentivos fiscales a quienes realizan investigaciones tecnológicas que conduzcan a una reducción de contaminantes y a la preservación del equilibrio ecológico (artículo 21).

Además, exige que las autoridades federales, estatales y locales desarrollen políticas sólidas que incluyan impuestos económicos, financieros y fiscales, así como esquemas basados en el mercado que otorguen alta prioridad a las actividades relacionadas con “la investigación e implementación de mecanismos de ahorro de energía y el uso de fuentes de energía que minimicen la contaminación” (artículo 22 bis).

En el artículo 28, fracción V, relacionada con los impactos ambientales de la ley, se establece que la autorización y control de aquellas obras que puedan causar algún desequilibrio ecológico corresponderá a la SEMARNAT. De acuerdo con los incisos del artículo 28, éstas son: obras hidráulicas y vías generales de comunicación; obras de la industria petroquímica, química, siderúrgica, papelera, azucarera, del cemento y eléctrica; exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la Federación en los términos de la Ley Minera y la ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en materia nuclear; aprovechamientos forestales en selvas tropicales y especies de difícil regeneración; cambios de uso del suelo de áreas forestales, selvas y zonas áridas, y actividades pesqueras, acuícolas o agropecuarias que puedan poner en peligro la preservación de los ecosistemas, entre otras (en el anexo 11 se incluye el detalle de los incisos del artículo 28).

Establece que la SEMARNAT promoverá la protección del suelo y prácticas de restauración en actividades agrícolas, y que se deberán realizar estudios de evaluación de impacto ambiental antes de otorgar autorizaciones para el uso de la tierra, para que el posible daño al área en cuestión o cualquier perturbación de su equilibrio ecológico puede anticiparse (artículo 104). También establece que se debe promover el uso sostenible y prácticas de restauración del suelo (artículo 103), evitando prácticas que causen erosión y degradación del mismo (artículo 98), por lo cual la producción de biocombustibles debe ser compatible con el uso natural de suelo y no debe alterar el equilibrio del ecosistema.

En caso de utilizarse residuos sólidos urbanos (RSU) para generar bioenergía, la SEMARNAT será

la encargada de coordinar los acuerdos necesarios para su gestión, incluyendo la elaboración de su inventario y fuentes generadoras (artículo 138).

ANEXO 3. LEY DE PROMOCIÓN Y DESARROLLO DE BIOENERGÉTICOS

La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB) fue promulgada por la SENER (2008) el 1 de febrero.

Objetivos

El objetivo de la LPDB es alentar el desarrollo y la promoción de la bioenergía para diversificar el consumo de energía en el país y lograr un desarrollo sostenible mediante el apoyo al sector agrícola. La ley busca promover la producción de bioenergía a partir de procesos agrícolas, forestales, de algas, biotecnológicos y enzimáticos sin amenazar la soberanía o seguridad alimentaria nacional.

Plantea desarrollar la producción, distribución y uso efectivo de la bioenergía para estimular las actividades del sector rural, generar empleo y mejorar la calidad de vida de la población, especialmente la de las comunidades marginadas.

En mayor detalle, en el artículo 1 se proponen varios objetivos:

- Apoyar al desarrollo rural y el de las comunidades rurales menos favorecidas
- Reducir las emisiones atmosféricas y los gases de efecto invernadero (GEI) mediante la implementación de los mecanismos internacionales contenidos en los tratados de los que México es parte.
- Coordinar las acciones del Gobierno Federal, los estados, el Distrito Federal y los municipios, así como las contribuciones del sector privado para el desarrollo de la bioenergía.

Estructura para implementar la Ley

El artículo 8 aborda la creación de una Comisión Intersecretarial de Bioenergéticos que incluye a los titulares de la SEMARNAT, la SAGARPA, la SENER, la Secretaría de Economía y la SHCP. Sus funciones incluyen: *i)* monitorear la implementación de la ley; *ii)* participar en la redacción de programas relacionados con la producción y comercialización de cultivos, así como en la producción, almacenamiento, transporte, distribución, comercialización y uso de bioenergía; *iii)* establecer los principios para la celebración de acuerdos entre los distintos niveles de

gobierno; *iv*) establecer las bases para la acción concurrente del sector privado en la implementación de la ley y los programas y medidas relacionados; *v*) promover las agroindustrias mediante, entre otras, la promoción de las inversiones necesarias y el uso eficiente de las tecnologías para la producción y comercialización de bioenergía, y *vi*) evaluar diversos programas de apoyo. Respecto a la producción y comercialización de cultivos, la Comisión de Bioenergía está autorizada a solicitar la opinión de la Comisión Intersecretarial para el Desarrollo Rural Sostenible.

Aspectos ambientales, sociales y económicos.

En el título II, capítulo III de la LPDB (SENER 2008) se establece que la SENER establecerá el programa de lanzamiento de bioenergía en el marco energético, que incluye el marco temporal para la introducción de la oxigenación de la gasolina mediante la mezcla con etanol y biodiésel (artículo 12). Aunque este programa no está diseñado para ser legalmente vinculante, contribuye a la creación de un mercado interno para los biocombustibles.

La ley incorpora algunas disposiciones de protección ambiental, por ejemplo, se estipula que la SEMARNAT (artículo 13) aplicará las regulaciones en el contexto de la Ley de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (OGM) promulgada el 18 de marzo de 2005 para garantizar que las actividades reguladas por la ley de bioenergía sean compatibles con la preservación, restauración y uso sostenible de los recursos naturales y la biodiversidad. Por último, la SEMARNAT es responsable de evaluar la sostenibilidad de los programas y actividades basados en la ley y garantizar el respeto de las leyes ambientales aplicables (artículo 13). Además, establece que la SAGARPA y la SENER apoyarán la investigación científica y tecnológica dirigida a determinar las condiciones necesarias para que la producción de bioenergía esté en armonía con el ambiente (artículo 19).

La SENER otorgará los permisos necesarios para realizar actividades y servicios relacionados con la producción, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de bioenergía (artículo 24).

La ley también establece que las secretarías que conforman la Comisión de Bioenergía elaborarán acciones que sirvan a objetivos sociales y mejoren la producción sostenible de cultivos (bioenergéticos) (artículo 17). De manera importante, establece que estas acciones deberán impulsar la productividad, favorecer la creación de empleo y motivar la creación y fusión de empresas rurales, de las

cuales al menos el 30 % de los accionistas debe estar conformado por los productores de cultivos (artículo 17). Aunado a esto, la ley establece que la SAGARPA evaluará periódicamente el impacto de los programas de bioenergía en la seguridad alimentaria, incluso mediante la realización de análisis de costo-beneficio, y pondrá a disposición del público esta información (artículo 11).

En los artículos 17 y 18 (título III, capítulo 1), la LPBD ordena a las secretarías de Estado, los gobiernos estatales y los distritos federales que promuevan la creación de infraestructura para la producción de bioenergía. Los incentivos creados en el marco de la ley están dirigidos a quienes contribuyen al desarrollo de la industria de la bioenergía y la modernización de su infraestructura a través de la fabricación, compra, instalación, operación o mantenimiento de maquinaria para la producción de bioenergía.

Investigación y desarrollo

El artículo 19 estipula que la SAGARPA y la SENER apoyarán la investigación científica y el desarrollo tecnológico para la producción y uso de bioenergía, así como la capacitación. Según el artículo 12, se requiere que la SENER incorpore nuevos biocombustibles resultado de la investigación y el desarrollo científicos en esta área (que no sean etanol y biodiésel). La ley también delega a la Comisión de Bioenergía la tarea de facilitar la promoción de la investigación científica y tecnológica, así como la capacitación en bioenergía (artículo 20).

Sanciones

El artículo 25 lista las infracciones sujetas a sanciones administrativas y civiles. Entre los delitos incluidos en la ley se encuentran realizar actividades o servicios sin permiso, infringir los términos y condiciones indicados en el mismo o infringir otras leyes o regulaciones que también se aplicarían a la bioenergía. Las infracciones pueden dar lugar a la imposición de multas, el retiro de permisos y el cierre parcial, permanente o temporal de las instalaciones (artículo 26).

Además de la LPDB, una serie de leyes constitucionales y disposiciones legales se refieren a la bioenergía.

ANEXO 4. LEY GENERAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El 6 de junio del 2012 fue publicada la Ley General de Cambio Climático (LGCC, SEMARNAT

[2012]), con última reforma el 6 de noviembre del 2020.

Objetivos

En el artículo 2 se exponen detalladamente los objetivos de esta ley:

Asegurar el derecho a un medio ambiente sano y minimizar los riesgos de la población y los ecosistemas debidos a las consecuencias derivadas del cambio climático.

Regular las acciones para minimizar las consecuencias derivadas del cambio climático y reducir las emisiones de GEI, mediante la participación y aplicación de políticas públicas en esta materia entre los actores correspondientes.

Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología con relación al cambio climático.

Promover la transición hacia una economía sostenible de bajas emisiones de carbono.

Establecer las bases para que México cumpla con el Acuerdo de París (limitar el aumento de la temperatura a 1.5 °C con relación a los niveles preindustriales).

Distribución de competencias

La federación, las entidades federativas y los municipios ejercerán las acciones que dicten tanto esta ley como la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, la Ley Federal de las Entidades Paraestatales y demás disposiciones jurídicas aplicables. Dichas funciones serán ejercidas por el Poder Ejecutivo y las dependencias y entidades que integran la Administración Pública Federal centralizada y paraestatal (artículos 5 y 6). En el artículo 7 se detallan las funciones:

I. Formular y conducir la política nacional en materia de cambio climático.

II. Elaborar, coordinar y aplicar los instrumentos de política previstos por esta ley.

III. Formular, conducir y publicar, con la participación de la sociedad, la estrategia nacional, el programa, y las contribuciones determinadas a nivel nacional, así como llevar a cabo su instrumentación, seguimiento y evaluación.

IV. Elaborar, actualizar, publicar y aplicar el Atlas Nacional de Riesgo y la Política Nacional de Adaptación, y emitir los criterios para la elaboración de los atlas de riesgo estatales.

V. Establecer procedimientos para realizar consultas públicas a la sociedad en general, los sectores público y privado, con el fin de formular la Estrategia Nacional y el Programa.

VI. Establecer, regular e instrumentar las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático, de conformidad con esta Ley, los tratados internacionales aprobados y demás disposiciones jurídicas aplicables.

VII. Incorporar en los instrumentos de política ambiental criterios de mitigación y adaptación al cambio climático.

VIII. La creación y regulación del fondo.

IX. Crear, autorizar y regular el comercio de emisiones.

X. Fomentar la investigación científica y tecnológica, el desarrollo, transferencia de tecnología.

XI. Promover la educación y difusión de la cultura en materia de cambio climático en todos los niveles educativos.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

De acuerdo con el artículo 13, se crea el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) como un organismo público descentralizado de la Administración Pública Federal. En el artículo 15 se describen los objetivos del INECC:

- Coordinar, realizar estudios y proyectos de investigación científica o tecnológica con instituciones públicas o privadas, en materia de cambio climático, protección al ambiente y restauración del equilibrio ecológico.

- Realizar análisis de prospectiva sectorial, y colaborar en la elaboración de estrategias, planes, programas, instrumentos, contribuciones determinadas a nivel nacional y acciones relacionadas con el desarrollo sustentable, el medio ambiente y el cambio climático.

- Evaluar el cumplimiento de los objetivos de adaptación y mitigación previstos en esta ley, así como las metas y acciones contenidas en la Estrategia Nacional, el Programa y los programas de las entidades federativas a que se refiere este ordenamiento.

La ley establece que corresponde al INECC coordinar, promover y desarrollar en conjunto con las dependencias y entidades correspondientes, la investigación científica y tecnológica relacionada con la política nacional en materia de bioseguridad, desarrollo sostenible, protección del ambiente y preservación y restauración del equilibrio ecológico (artículo 22).

Instrumentos de planeación de la Política Nacional de Cambio Climático

De acuerdo con el artículo 58, los instrumentos de planeación de la Política Nacional de Cambio

nacional, 2) el programa, 3) la Política Nacional de Adaptación, 4) las contribuciones determinadas a nivel nacional y 5) los programas de las entidades federativas. Estas últimas son responsables de adecuar dichos instrumentos en los ámbitos correspondientes (artículo 28).

La Política Nacional de Cambio Climático es coordinada por el Sistema Nacional de Cambio Climático (artículo 38), cuyo objetivo es implementar programas e instrumentos económicos de política y regulatorios para la reducción de emisiones específicas, así como su monitoreo y evaluación (artículo 31). Los objetivos de la Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático son detallados en el artículo 27:

Identificar y minimizar los puntos sensibles de la sociedad y los ecosistemas frente a los efectos del cambio climático, considerando sus escenarios actuales y futuros.

Implantar mecanismos de atención inmediata en zonas damnificadas a causa de fenómenos relacionados con el cambio climático.

Favorecer la seguridad alimentaria y la preservación de ecosistemas y recursos naturales.

Las políticas públicas para la mitigación del cambio climático tienen por objetivo, la protección del medio ambiente y reducción de GEI por medio de políticas basadas en una economía sostenible, así como incentivos económicos y fiscales que apoyen el desarrollo de empresas socialmente responsables con el medio ambiente, además de promover el desarrollo de tecnologías que generen energías renovables (artículo 33).

En esta línea, la SENER establecerá políticas e incentivos para promover la utilización de tecnologías limpias (artículo 34). Además, en conjunto con la SHCP persuadirá fiscal y financieramente a las empresas a participar de manera voluntaria en proyectos de reducción de emisiones (artículo 36).

En su artículo 37, la LGCC retoma las estrategias implementadas en el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París. Establece que es responsabilidad de la SEMARNAT en conjunto con el INECC diseñar la estrategia nacional, con la finalidad de dirigir la política nacional hacia una economía sostenible (artículo 60). Por su parte, el programa será elaborado por la SEMARNAT, y sus objetivos y actividades estarán coordinadas con el Plan Nacional de Desarrollo y la Estrategia Nacional (artículo 66).

Se crea el Fondo para el Cambio Climático con el objetivo de reunir los recursos económicos

necesarios para impulsar las actividades dirigidas a mitigar dicho fenómeno (artículo 80).

La federación y las entidades federativas desarrollarán instrumentos económicos que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política nacional en materia de cambio climático (artículo 91), mediante instrumentos financieros y financiamiento de proyectos, investigación científica y tecnológica para el desarrollo de bajas emisiones en carbono (artículo 92).

También serán otorgados estímulos fiscales a las actividades relacionadas con la adaptación al cambio climático y la mitigación de GEI (artículo 93).

ANEXO 5. LEY DE TRANSICIÓN ENERGÉTICA

El 24 de diciembre del 2015 fue emitida por la SENER (2015) la Ley de Transición Energética (LTE), cuyo objetivo es regular el aprovechamiento sostenible de la energía y la reducción de emisiones contaminantes de la industria eléctrica (artículo 1).

Los objetivos establecidos en esta ley deben ser ejecutados de una manera económicamente viable y de manera gradual (artículo 2). Se usarán mecanismos de promoción de energías limpias y reducción de emisiones contaminantes. También promueve el aprovechamiento sostenible de la energía en el consumo final y en los procesos de transformación, así como el aprovechamiento energético de recursos renovables y de los residuos (artículo 2).

La ley estipula que la SENER vigilará que la generación eléctrica proveniente de fuentes de energía limpias alcance los niveles establecidos en la LGCC para la industria, además de que se produzca de manera sostenible en las condiciones económicas y del mercado eléctrico en el país (artículo 4).

Se deberán implantar estrategias que contengan políticas y medidas para impulsar el aprovechamiento energético de recursos renovables y para la sustitución de combustibles fósiles en el consumo final (artículo 5).

En el artículo 10 de esta ley se estipula que la SENER, la CRE, el CENACE y la CONUEE deberán:

I. Establecer y ajustar la normatividad necesaria relacionada con las características, prestaciones y desempeño mínimo de los componentes físicos de las instalaciones y los métodos de instalación de sistemas de generación limpia distribuida según lo definan los reglamentos o normas que se emitan.

II. Elaborar las bases normativas para la certificación de empresas y su personal, dedicadas a la instalación de sistemas de generación limpia distribuida.

III. Fomentar la capacitación y certificación de empresas y su personal, así como profesionales y técnicos independientes para la instalación de sistemas de generación limpia distribuida.

IV. Expeditar el proceso de instalación de medidores bidireccionales u otras tecnologías y métodos de medición de generación y consumo a todas las personas físicas y morales que soliciten conectar su sistema de generación limpia distribuida a la red de distribución.

V. Proponer a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público mecanismos de apoyo, estímulos fiscales, o financieros, que permitan promover inversiones en medidas técnica y económicamente viables en materia de eficiencia energética e integración de sistemas de generación distribuida de electricidad cuando estos impliquen (artículo 10).

La estrategia tiene como objetivos: 1) establecer las metas y la hoja de ruta para la implementación de dichas metas, 2) fomentar la reducción de emisiones contaminantes originadas por la industria eléctrica y 3) reducir, bajo criterios de viabilidad económica, la dependencia del país de los combustibles fósiles como fuente primaria de energía (artículo 27). La estrategia deberá ser planeada para cubrir un periodo de 30 años, establecerá las políticas y las acciones que deberán ser ejecutadas mediante programas anuales (artículo 27). Se deberá cumplir con un conjunto de análisis y estudios sobre las condiciones técnicas, científicas, tecnológicas, económicas, financieras, fiscales, ambientales y sociales futuras de la infraestructura de explotación, producción, transformación, transmisión, distribución y uso final de la energía (artículo 28).

Por su parte, los fondos destinados para la transición energética y el aprovechamiento sostenible de la energía tendrán como objetivo canalizar recursos financieros públicos y privados, nacionales o internacionales, para instrumentar acciones que sirvan para contribuir al cumplimiento de la estrategia y apoyar programas y proyectos que diversifiquen y enriquezcan las opciones para el cumplimiento de las metas en materia de energías limpias y eficiencia energética (artículo 48).

Los objetivos estipulados por la ley respecto al financiamiento para el aprovechamiento sostenible de la energía son: 1) contribuir a la sustitución de equipos y aparatos energéticamente ineficientes, 2) la realización de mejoras a edificaciones en las que se realice el consumo energético para su acondicionamiento con el fin de que éste sea más eficiente y 3) la instalación de equipos económicamente viables

que permitan aprovechar a los hogares las fuentes de energía renovables para la satisfacción de sus necesidades (artículo 55).

La SENER establecerá las obligaciones para adquirir certificados de energías limpias (artículo 68).

Investigación y desarrollo

La SENER y el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL), con participación del Conacyt, promoverán la investigación aplicada y el desarrollo de tecnologías para el cumplimiento de las metas, de acuerdo con los siguientes criterios: 1) el fomento al desarrollo de nuevos conocimientos, materiales, técnicas, procesos, servicios y tecnologías en materia de energías limpias y eficiencia energética; 2) la viabilidad técnica, ambiental, financiera, administrativa, social y de ejecución de los proyectos de Energías Limpias, y 3) la vinculación de los resultados de la investigación científica, la innovación y el desarrollo tecnológico con el desarrollo económico y social tanto nacional como regional, poniendo especial atención en la generación de empleos (artículo 75).

La administración del INEEL estará a cargo de una junta directiva y de un director general nombrado por el titular del Ejecutivo Federal a propuesta del secretario de Energía (artículo 78). El Instituto tiene por objetivo coordinar y realizar proyectos de investigación científica o tecnológica con instituciones académicas públicas o privadas en materia de energía (artículo 79).

Por su parte, la Secretaría de Economía, en coordinación con la SENER, elaborará un estudio para determinar las necesidades y el potencial de la industria eléctrica en materia de energías limpias cada vez que se elabore o actualice una nueva estrategia o programa (artículo 85).

A su vez, el Consejo Consultivo para la Transición Energética será el órgano permanente de consulta y participación ciudadana cuyo objetivo es opinar y asesorar a la SENER sobre las acciones necesarias para dar cumplimiento a las metas y acciones establecidas en la presente ley (artículo 87).

En el artículo 98 se estipula la creación del Sistema Nacional de Información Energética, el cual tiene como objetivo registrar, organizar, actualizar y difundir la información en materia de aprovechamiento sostenible de la energía.

La ley establece que la excelencia en eficiencia energética es un proceso voluntario de certificación de los productos y edificaciones que cumplan con los más altos estándares de eficiencia energética (artículo 107), cuya certificación estará a cargo de

la SENER con el apoyo técnico de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) (artículo 108).

Por su parte la SENER, a través de la CONUEE, podrá celebrar acuerdos voluntarios con participantes de los sectores productivos que tengan consumos significativos de energía por cada unidad de producción física, a fin de reducir la intensidad energética en sus actividades (artículo 111).

ANEXO 6. PROGRAMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS 2017-2018

El Programa Nacional para la Prevención y Gestión integral de los Residuos (PNPGIR) fue presentado por primera vez en 2009 (SEMARNAT 2009). Su elaboración fue encabezada por la SEMARNAT, según lo dispuesto en la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) y es considerado un tema prioritario para el desarrollo integral del país (SEMARNAT 2018). Tiene por objetivo facilitar la reinserción de los RSU en las cadenas productivas y la minimización de su disposición final, aprovechando al máximo su valorización material y energética.

El capítulo 1 se refiere a la importancia de promover la prevención, aprovechamiento, tratamiento y manejo adecuado de los RSU, mediante de la participación de los diferentes sectores de la población, la incorporación de nuevas tecnologías y la legislación aplicable. También menciona que en 2003 la LGPGIR sentó las bases para el manejo de los residuos en México, generando instrumentos jurídicos a nivel nacional, estatal y municipal, y que el reciclaje en México se estima cercano al 9 %, por debajo de países como Alemania, Bélgica, Suecia y Dinamarca, los cuales reciclan más del 35 % de sus desechos. Estos países se caracterizan por invertir en el desarrollo de infraestructura para la valorización de los RSU (SEMARNAT 2018).

Actualmente el desempeño de la Política de Gestión Integral de los RSU ha influido de manera satisfactoria en ámbitos como el gubernamental, institucional, legislativo y financiero, así como en las políticas públicas (SEMARNAT 2018).

De acuerdo con el PNPGR (SEMARNAT 2018), México se encuentra rezagado en cuanto a la valorización y aprovechamiento de los RSU, ya que cuenta con 17 plantas de selección ubicadas en 14 entidades federativas, las cuales recuperan aproximadamente el 1.31 % del total de los RSU, al que se suman el 4.24 % de los residuos recibidos en los centros de acopio y el

4.07 % de la actividad informal. También menciona que el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos orgánicos (FORSU) mediante compostaje es prácticamente inexistente en el país.

Siendo el mecanismo encargado de medir el tamaño de la infraestructura instalada para el tratamiento anaerobio de la fracción orgánica de los RSU construida con aprovechamiento energético, menciona que actualmente el uso de tecnologías de tratamiento anaerobio es prácticamente nulo en México, debido al alto costo de inversión inicial, a los requerimientos técnicos para la construcción y operación o al desconocimiento de esta tecnología, a pesar de que representa una alternativa viable para el tratamiento de la FORSU (SEMARNAT 2018).

Entre los objetivos y estrategias derivados del PNPGR (SEMARNAT 2018) se encuentran:

- Implementar una política integral de desarrollo que vincule la sostenibilidad ambiental con costos y beneficios para la sociedad.
- Fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sostenible, resiliente y de bajo contenido de carbono.
- Promover el aprovechamiento de residuos orgánicos y su valorización mediante la creación de una norma mexicana de compostaje.
- Promover el aprovechamiento energético, desarrollo de mercados y cooperación internacional, tomando como indicador el tamaño de la infraestructura de tratamiento anaerobio (meta: 2018 biodigestores).

En México se cuenta con un marco legal que permite la generación y comercialización de energía eléctrica por parte de la industria privada (SENER 2020). De acuerdo con el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2020 (DBGIR, SEMARNAT 2020), existen cinco plantas de biodigestión en México, ubicadas en los municipios de Xalatlaco, Estado de México; Parácuaro, Michoacán; Comalcalco, Tabasco, y Chiconcuautla, Puebla (2), así como una planta de biodigestión en la Ciudad de México. También se señala la existencia dos plantas de digestión anaerobia ubicadas en Milpa Alta, con capacidad de 3 t/d de residuos de nopal, y el municipio de Atlacomulco, Estado de México, con capacidad de 30 t/d, la cual procesa residuos provenientes de restaurantes, mercados y rastros, entre otros.

En 2017, el gobierno de la Ciudad de México licitó un contrato de prestación de servicios para la construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de

un biodigestor para procesar 2500 t/d de RSO, la cual generaría 159.9 GWh/año; sin embargo, este proyecto fue cancelado (SEMARNAT 2020).

Se presume que la existencia de un número escaso de plantas de biodigestión a nivel nacional se debe al elevado costo de instalación y mantenimiento de este tipo de tecnología, además de las dificultades que implica procesar residuos orgánicos de origen domiciliario por su heterogeneidad (SEMARNAT 2020).

ANEXO 7. PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2013-2018.

El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, publicado el 20 de mayo de 2013 en el Diario Oficial de la Federación (DOF 2013), tiene como uno de sus objetivos

“Fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sostenible, resiliente y de bajo carbono.”,

y menciona las siguientes acciones para cumplirlo:

1. Ampliar la cobertura de infraestructura y programas ambientales que protejan la salud pública y garanticen la conservación de los ecosistemas y recursos naturales.

2. Desarrollar las instituciones e instrumentos de política del Sistema Nacional de Cambio Climático.

3. Acelerar el tránsito hacia un desarrollo bajo en carbono en los sectores productivos primarios, industriales y de la construcción, así como en los servicios urbanos, turísticos y de transporte.

4. Promover el uso de sistemas y tecnologías avanzados, de alta eficiencia energética y de baja o nula generación de contaminantes o compuestos de efecto invernadero.

5. Lograr un manejo integral de residuos sólidos de manejo especial y peligrosos, que incluya el aprovechamiento de los materiales que resulten y minimice los riesgos a la población y al medio ambiente.

6. Realizar investigación científica y tecnológica, generar información y desarrollar sistemas de información para diseñar políticas ambientales y de mitigación y adaptación al cambio climático.

7. Lograr el ordenamiento ecológico del territorio en las regiones y circunscripciones políticas prioritarias y estratégicas, en especial en las zonas de mayor vulnerabilidad climática.

8. Continuar con la incorporación de criterios de sostenibilidad y educación ambiental en el Sistema Educativo Nacional y fortalecer la formación ambiental en sectores estratégicos.

9. Contribuir a mejorar la calidad del aire, y reducir emisiones de compuestos de efecto invernadero mediante combustibles más eficientes, programas de movilidad sostenible y la eliminación de los apoyos ineficientes a los usuarios de los combustibles fósiles.

ANEXO 8. PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2019-2024

El Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 fue publicado en la Gaceta Parlamentaria de fecha 30 de abril de 2019 (DOF 2019). Dentro de los objetivos, establece estrategias para combatir el cambio climático y la reducción de GEI, así como estrategias orientadas a fortalecer una gobernanza ambiental y territorial que incluya la activa participación de los pueblos indígenas y las comunidades locales. Se plantea como medida urgente cambiar a modelos de producción y consumo que reduzcan las presiones sobre los recursos naturales y minimicen la generación de residuos y emisiones de contaminantes.

Eje General “Bienestar”

El objetivo de este eje es *“Garantizar el derecho a un medio ambiente sano con enfoque de sostenibilidad de los ecosistemas, la biodiversidad, el patrimonio y los paisajes bioculturales”.*

Para dar seguimiento y medir el avance en el logro del objetivo planteado se proponen los siguientes indicadores:

1. Costo total respecto al PIB del agotamiento de los recursos naturales y la degradación ambiental, sin hidrocarburos. Mide el porcentaje respecto al PIB de los costos por remediar, restituir o prevenir el agotamiento y degradación de los recursos naturales y el medio ambiente.

2. Territorio nacional cubierto por bosques y selvas. Mide el resultado de todas las acciones de conservación, manejo y recuperación de la cubierta vegetal forestal y permite observar si disminuye la deforestación (pérdida de cubierta forestal).

Las estrategias que se plantean para garantizar el derecho a un ambiente sano son las siguientes:

1. Conservar y proteger los ecosistemas terrestres y acuáticos, así como la biodiversidad para garantizar la provisión y calidad de sus servicios ambientales.

2. Aprovechar sosteniblemente los recursos naturales y la biodiversidad con base en una planeación y gestión económica comunitaria con enfoque territorial, de paisajes bioculturales y cuencas.

3. Restaurar ecosistemas y recuperar especies prioritarias con base en el mejor conocimiento científico y tradicional disponible.

4. Fortalecer la gobernanza ambiental y territorial mediante la participación, transparencia, inclusión, igualdad, acceso a la justicia en asuntos ambientales y reconociendo el conocimiento y prácticas tradicionales de los pueblos.

5. Articular la acción gubernamental para contribuir a una gestión pública ambiental con enfoque de territorialidad, sostenibilidad, de derechos humanos y de género.

6. Fortalecer la capacidad de adaptación ante el cambio climático de poblaciones, ecosistemas e infraestructura estratégica, bajo un enfoque basado en derechos humanos y justicia climática, incorporando conocimientos tradicionales e innovación tecnológica.

7. Impulsar la investigación y la cultura ambiental para la sostenibilidad, y fomentar mecanismos e instrumentos para motivar la corresponsabilidad de todos los actores sociales en materia de desarrollo sostenible.

8. Promover la gestión, regulación y vigilancia para prevenir y controlar la contaminación y la degradación ambiental.

9. Fomentar la creación y fortalecimiento de empresas en el Sector Social de la economía que favorezcan el mejor aprovechamiento del patrimonio social, cultural y medioambiental de las comunidades”.

Eje general “Desarrollo económico”

Tiene como objetivo fomentar un desarrollo económico que promueva la reducción de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero y la adaptación al cambio climático para mejorar la calidad de vida de la población, así como promover políticas para la reducción de emisiones de gases, compuestos de efecto invernadero en sectores productivos y conservar sumideros de carbono.

ANEXO 9. ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

La Estrategia Nacional de Cambio Climático (CICC 2007) identifica una serie de oportunidades de mitigación de GEI y establece el objetivo de instalar una capacidad de 7000 MW para generar

16 000 GWh/año a partir de energías renovables (excluyendo grandes proyectos hidroeléctricos). También describe instrucciones para futuras acciones en la producción y uso de energía, incluyendo: establecer incentivos fiscales para promover inversiones en proyectos de energía sostenible; eliminar subsidios al consumo y la producción de energía a partir de combustibles fósiles; promover la producción de electricidad a partir de fuentes renovables; mejorar la participación del sector privado en la producción de energía de baja intensidad, en particular a partir de energías renovables, y apoyar la investigación de tecnologías de baja intensidad energética en energías renovables particulares (CICC 2007).

El 3 de junio de 2013 se publicó el acuerdo por el que se expide la Estrategia Nacional de Cambio Climático visión 10-20-40 como instrumento de planeación nacional en el mediano y largo plazo (SEMARNAT 2013). Esta estrategia tiene el siguiente objetivo:

“La visión de largo plazo de este instrumento rector plantea que el país crecerá de manera sostenible y promoverá el manejo sustentable y equitativo de sus recursos naturales, así como el uso de energías limpias y renovables que le permitan un desarrollo con bajas emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero”.

ANEXO 10. DISCUSIÓN ADICIONAL SOBRE MARCO LEGAL Y BIORREFINERÍAS

Partiendo de otro enfoque podría afirmarse o teorizarse que, además del desarrollo del marco legal actual, hay elementos que pueden favorecer el desarrollo de la producción de biocombustibles y las biorrefinerías (BRF) en México. Es decir, muy probablemente, el relativo rezago de producción de biocombustibles y el magro desarrollo de BRF en México pueda ser un problema multifactorial (Alibardi et al. 2020), en que el rezago del marco legal puede ser un factor importante o dominante pero no único. Sin embargo, se mostrará más adelante (tanto en este anexo como en el 12) que varios estudios internacionales abordan el importante vínculo entre el dúo marco legal-biocombustibles (y BRF) (Centro Mario Molina 2010, Bautista et al. 2016, Espinoza-Pérez et al. 2017, OECD 2017).

La producción y el consumo de los biocombustibles en México han sido limitados. No obstante, a nivel mundial se han estado incrementado sustancialmente durante los últimos años. El etanol es uno de los biocombustibles cuyo uso se ha intensificado en el sector

autotransporte, particularmente en EUA y Brasil. En 2019 se produjeron 109 582 millones de litros de biocombustible de etanol, de los cuales el 55 % correspondió a EUA y el 28 % a Brasil. México apenas produjo 54 millones de litros de etanol, de los cuales exportó tres millones de litros, sin embargo, importó 179 millones de litros, principalmente de biocombustibles provenientes de EUA (CEDRSSA 2020).

A continuación, abordaremos tres importantes reflexiones.

Reflexión 1: ¿regular las BRF a un nivel de mayor especificidad sería favorable o contraproducente?

Consideramos que una regulación específica para las BRF sirve de protección y estímulo en la etapa naciente de ese tipo de aprovechamiento integral de residuos. Según Espinosa-Pérez et al. (2017), la ausencia de políticas y regulaciones puede ser un factor de incertidumbre en la cadena de suministro de BRF. Así, las políticas son fundamentales para promover la producción de biodiésel, creando condiciones económicas y mercados favorables por medio de subsidios, exenciones de impuestos y obligaciones de consumo, como es el caso de la mezcla diésel-biodiésel abordado por Bautista et al. (2016). Estos autores también mencionan que además de las políticas de promoción, posibles subvenciones y reducciones de impuestos son necesarias para estimular el mercado.

Según Espinoza-Pérez et al. (2017) existen investigaciones que consideran los incentivos gubernamentales como fuente de rentabilidad para la empresa, dejando atrás la política objetivo de reducir los incentivos económicos cuando la industria sea autosuficiente. Tal es el caso de varios países, por ejemplo, Colombia, Brasil, Argentina, Perú, EUA y la Unión Europea (UE), entre otros, donde a través de incentivos gubernamentales se han desarrollado condiciones para el surgimiento de la industria de biocombustibles y bioproductos.

Por ello una política de promoción de biocombustibles en México debe aprovechar las experiencias y el conocimiento internacionales, además de contribuir con la economía y ayudar a reducir los impactos ambientales generados por el uso de combustibles fósiles (Centro Mario Molina 2010).

En México, por ejemplo, la LPDB puede interpretarse, más allá de posibles limitaciones, como un paso en firme para estimular y eventualmente afianzar el desarrollo de fuentes renovables de energía, dando seguridad tanto a inversionistas como a innovadores y encargados de la toma de decisiones.

Otro ejemplo del papel de la legislación en la certidumbre en un área ajena a BRF pero que sirve como analogía del dúo marco legal-bionergéticos y BRF, son los reclamos de sectores financieros y productivos que continuamente exigen leyes y reglamentos que den certidumbre a sus inversiones, es decir, el dúo marco legal-inversiones. El sector privado busca certeza, estabilidad y coherencia en las políticas. Las empresas pueden invertir en muchos países, y la falta de certeza política en un país determinado impulsará las inversiones fuera de ese país. Se necesita un plazo de 15 a 25 años para dar a la industria de base biológica una ventaja competitiva sobre la producción basada en fósiles. La producción basada en combustibles fósiles ya disfruta de subsidios masivos (OECD 2017).

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE 2017), si la sociedad necesita un cambio en la producción y considera que la bioproducción favorece el “bien público”, es necesario que se produzcan cambios importantes en la sociedad. Esta revolución de la producción está lejos de entrar en los intereses del sector privado y durante las próximas décadas se necesitarán inversiones y políticas públicas para lograrla. Las políticas necesarias deben ayudar a ofrecer mayor rentabilidad. Por esto el biorrefinamiento de residuos debe impulsarse a nivel gubernamental y reforzar su apoyo legal. Esto otorga credibilidad política, pero también debería contribuir a una comunicación y coordinación más eficientes entre las secretarías de Agricultura, Medio Ambiente y Energía.

La discusión basada en las referencias anteriores sugiere que no contar con leyes y regulaciones para BRF sería un doble estándar y retrasaría el nacimiento y desarrollo de esas tecnologías porque tanto los inversionistas como el sector técnico a cargo de las innovaciones pueden retraerse de su interés en este campo dado el clima de incertidumbre legal. Peor aún, los encargados de la toma de decisiones se sentirían desamparados para apoyar e implementar el diseño y construcción de BRF.

Reflexión 2: ¿realmente es necesario un marco legal específico para las BRF?

Hasta cierto punto, el análisis del apartado anterior destaca las posibles ventajas de tener marco un legal coherente y positivo para BRF.

Reflexión 3: ¿qué puede decirse sobre el marco legal, BRF y el desarrollo sostenible que se postula al inicio del artículo?

Por un lado, la relación virtuosa entre el desarrollo de BRF y el desarrollo sostenible está muy documentada en la literatura internacional y nacional (Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas [Naciones Unidas 2015]). Por otro lado, en la primera reflexión hemos argumentado sobre los posibles beneficios de la legislación relacionada con BRF sobre su desarrollo y afianzamiento. Por propiedad transitiva, una legislación sobre BRF seguramente tendría una gran contribución sobre el desarrollo sostenible de la sociedad mexicana.

La bioproducción está directamente relacionada con varios de los grandes desafíos sociales y objetivos políticos; principalmente, la mitigación del cambio climático, la seguridad energética y el agotamiento de los recursos. Por tanto, la bioproducción toca los retos humanos más importantes del presente y del futuro, que en conjunto podrían denominarse desarrollo sostenible, y por tanto está directamente vinculada con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (Poggi-Varaldo et al. 2014, Naciones Unidas 2015, Parajuli et al. 2015, Sadhukhan et al. 2018).

Diversos gobiernos han establecido objetivos de reducción de emisiones para cumplir con las obligaciones internacionales; como resultado, se ha impulsado el uso de biomasa para la generación de electricidad y para producir tanto combustibles líquidos y gaseosos como materiales biológicos (por ejemplo, productos químicos, plásticos y textiles). Según la Agencia Internacional de Energías Renovables, a mediados de 2015 al menos 154 países habían establecido objetivos de energía renovable (IRENA 2015a, b).

ANEXO 11. DETALLES DEL ARTÍCULO 28 DE LA LGEEPA

El artículo 28 de la Sección V de la LGEEPA (SEMARNAT 1988), relacionado con impactos ambientales, establece

que la SEMARNAT se encargará de las condiciones a las que se sujetarán las obras que puedan causar algún desequilibrio ecológico y que por tanto su autorización dependerá de dicha entidad. Dichas obras serán:

- I. Obras hidráulicas, vías generales de comunicación.*
- II. Industria petroquímica, química, siderúrgica, papelería, azucarera, del cemento y eléctrica.*
- III. Exploración, explotación y beneficio de minerales y sustancias reservadas a la Federación en los términos de las leyes Minera y Reglamentaria del artículo 27 constitucional en materia nuclear.*
- IV. Instalaciones de tratamiento, confinamiento o eliminación de residuos peligrosos, así como residuos radiactivos.*
- V. Aprovechamientos forestales en selvas tropicales y especies de difícil regeneración.*
- VI. Cambios de uso del suelo de áreas forestales, selvas y zonas áridas.*
- VII. Parques industriales donde se prevea la realización de actividades altamente riesgosas.*
- VIII. Desarrollos inmobiliarios que afecten los ecosistemas costeros.*
- IX. Obras y actividades en humedales, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales.*
- X. Obras y actividades en áreas naturales protegidas de competencia de la Federación.*
- XI. Actividades pesqueras, acuícolas o agropecuarias que puedan poner en peligro la preservación de los ecosistemas.*
- XII. Obras referentes a asuntos de competencia federal, que puedan generar impactos al medio ambiente*

ANEXO 12. LAS BIORREFINERÍAS Y SU RELACIÓN CON EL DESARROLLO DE LEGISLACIÓN CORRESPONDIENTE.

El desarrollo de una tecnología es en general un proceso multifactorial. La existencia de un marco

CUADRO 12.1. NÚMERO DE BIORREFINERÍAS OPERATIVAS EN MÉXICO Y PAÍSES SELECTOS.

País	No. de BRF en operación en escala piloto o industrial	Avance de la legislación sobre BRF
EUA	250	Alto
Alemania	58	Moderado a alto
México	6	Bajo

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Sotelo-Navarro et al. (2021).

legal como estimulante del desarrollo de BRF puede ser importante y muchas veces determinante, aunque no es la única variable. Otro enfoque bien podría afirmar o teorizar que existen elementos, además del desarrollo del marco legal actual, que pueden favorecer el desarrollo de la producción de biocombustibles y de las BRF en México. Es decir, muy posiblemente, el relativo rezago de producción de biocombustibles y desarrollo de BRF sea un problema multifactorial (Alibardi et al. 2020).

La producción y consumo de biocombustibles en México ha sido limitada. En 2019 se produjeron sólo 54 millones de litros de etanol, de los cuales se exportaron tres millones de litros; sin embargo, se importaron 179 millones de litros, principalmente de biocombustibles provenientes de EUA (CEDRSSA 2020). Lo anterior contrasta con la situación en EUA y Brasil, donde el consumo de biocombustibles ha ido en aumento, ya que durante 2019 produjeron 60 271 y 30 683 millones de litros, respectivamente.

En el **cuadro S2** (elaborado con base en datos publicados por BIC [2017], Parisi [2020] y Sotelo-Navarro et al. [2021]) se muestra el número de BRF operativas en México y países selectos, así como el avance de la legislación correspondiente a BRF, de acuerdo con la información disponible. Si bien la información de dicho cuadro es insuficiente para encontrar una correlación firme, sugiere —con la cautela debida— cierta correlación positiva entre los niveles de número de BRF en operación y el nivel de desarrollo de la legislación sobre BRF.

Consideramos que una regulación específica para las BRF puede servir de protección y estímulo en la etapa naciente de ese tipo de aprovechamiento integral de residuos. También hay evidencia internacional sobre el rol de la legislación y políticas y el desarrollo de regulaciones y políticas. Según Espinosa-Pérez et al. (2017), la ausencia de políticas y regulaciones puede ser factor de incertidumbre en la cadena de suministro de BRF (Espinosa-Pérez et al. 2017).

Por ello las políticas son fundamentales para promover la producción de biodiésel, creando, de acuerdo con Bautista et al. (2016), condiciones económicas y mercados favorables como subsidios, exenciones de impuestos y obligaciones de consumo como en el caso de la mezcla diésel-biodiésel. Estos autores también mencionan que además de las políticas de promoción, las posibles subvenciones y reducciones de impuestos son necesarias para estimular el mercado.

Según Espinoza-Pérez et al. (2017) existen investigaciones que consideran los incentivos gubernamentales como fuente de rentabilidad para la

empresa, dejando atrás la política objetivo de reducir los incentivos económicos cuando la industria sea autosuficiente. Tal es el caso de varios países, por ejemplo, Colombia, Brasil, Argentina, Perú, EUA y la UE, entre otros, donde a través de incentivos gubernamentales se han desarrollado condiciones para el surgimiento de la industria de biocombustibles y bioproductos.

De ahí que una política de promoción de biocombustibles en México deba aprovechar las experiencias y el conocimiento internacionales, además de contribuir con la economía y ayudar a reducir los impactos ambientales generados por el uso de combustibles fósiles (Centro Mario Molina 2010). Análogamente, esto es también válido para BRF.

ANEXO 13. CONTEXTO DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS EN EUA Y LA UE.

De acuerdo con la Agencia Europea de Medio Ambiente, en el contexto de la UE las Directivas de gestión de RSU han dado prioridad a obtener el mayor valor posible de estos residuos y evitar su disposición final. En esta línea, la proporción de RSU enviados a rellenos sanitarios debe reducirse al 10 % o menos de la cantidad total de RSU generados para 2035, ya que esto implica impactos negativos para el medio ambiente y la economía (European Environment Agency 2016, 2019).

En este ámbito, las directivas en la UE han logrado un avance positivo en la gestión de RSU, al reducir la tasa de RSU destinados a rellenos sanitarios en los 32 países miembros, del 49 % en 2004 al 34 % en 2014 (European Environment Agency 2016). Durante el periodo 2010-2016, la proporción de RSU enviados a rellenos sanitarios disminuyó del 29 al 25 % en los 28 estados miembros de la UE, Islandia, Noruega y Serbia (European Environment Agency 2019).

Más aún, en 2017 los RSU dispuestos en rellenos sanitarios se redujeron a un 21.0 %. Además, durante el periodo 2008-2017 el compostaje y digestión aumentaron un 18.6 % (European Environment Agency 2019).

De acuerdo con datos de la European Commission (2021), durante 2018 se generaron en la UE 2337 millones de toneladas de RSU, de las cuales el 37.9 % fue reciclado y el 30.5 % fue dispuesto en rellenos sanitarios.

En contraste, en México aproximadamente el 79 % de la generación total de RSU es enviada actualmente a rellenos sanitarios y el reciclaje se estima cercano a tan sólo el 9 % (PNPGIR 2018),

esto de una generación total aproximada de RSU de 120,128 toneladas diariamente (DBGIR 2020).

Por su parte, en EUA se cuenta con una capacidad total de procesamiento de RSO mediante digestión anaerobia de aproximadamente 24.3 millones de toneladas (2019). La cantidad total de RSO procesados en 2017 fue de aproximadamente 9.7 millones de toneladas y en 2018 se procesaron poco más de 9.9 millones de toneladas (US-EPA 2021).

De acuerdo con datos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, en el 2018 en los EUA se generaron aproximadamente 292 millones de toneladas de RSU, de los cuales fueron reciclados aproximadamente 69 millones de toneladas (22.6 %) y 25 millones de toneladas fueron enviados a composta (8.6 %). Además, alrededor de 18 millones de toneladas de alimentos (6.1 %) se procesaron a través de otras vías de manejo de residuos y más de 146 millones de toneladas (50 %) fueron enviados a rellenos sanitarios (US-EPA 2020).

México alcanzó solo el 9 % de reciclaje de los RSU recolectados a nivel nacional (SEMARNAT 2018), muy por detrás de EUA (22.9 %) y de la UE (39.9 %). Esto indica que los instrumentos de política implementados en la UE han sido de gran influencia para promover eficiencia de la gestión de RSU y en consecuencia la mayoría de los países han desarrollado más de dos planes nacionales de gestión de residuos (European Environment Agency 2016).

ABREVIATURAS

BRF	Biorrefinería
CEDRSSA	Centro de Estudios para el Desarrollo Rural y Sustentable y la Soberanía Alimentaria
CPEUM	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
DBGIR	Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos
FORSU	Fracción orgánica de los residuos sólidos orgánicos
GEI	Gases de efecto invernadero
IRENA	Agencia Internacional de las Energías Renovables (por sus siglas en inglés)
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LPDB	Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PNPGIR	Programa Nacional de Prevención y Gestión Integral de Residuos

REFERENCIAS

- Alibardi L., Astrup T.F., Asunis F., Clarke W.P., De Gioannis G., Dessi P., Lens P.N.L., Lavagnolo M.C., Lombardi L., Muntoni A., Pivato A., Poletini A., Pomi R., Rossi A., Spagni A. y Spiga D. (2020). Organic waste biorefineries: Looking towards implementation. *Waste Manage.* 114, 274-286. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.010>
- Bautista S., Enjolras M., Narváez P., Camargo M. y Morel L. (2016). Biodiesel-triple bottom line (TBL): A new hierarchical sustainability assessment framework of principles criteria & indicators (PC&I) for biodiesel production. Part II-validation. *Ecol. Indic.* 69, 803-817. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.046>
- BIC (2017). Biorefineries in Europe 2017. Mapping European Biorefineries. Bio-Based Industries Consortium [en línea]. <https://biconsortium.eu/news/mapping-european-biorefineries/5/21/2021>
- CEDRSSA (2020). La producción y el comercio de los biocombustibles en México y en el Mundo. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Cámara de Diputados, Ciudad de México, México, 28 pp.
- Centro Mario Molina (2010). Los biocombustibles en México [en línea]. http://centromario-molina.org/wp-content/uploads/2012/05/1.-Los-biocombustibles-en-M%C3%A9xico.-Postura-del-CMM.-2010_final-1.pdf 13/05/2021
- CICC (2007). Estrategia Nacional de Cambio Climático. Síntesis Ejecutiva. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, México, 16 pp.
- DOF (1917). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Texto vigente [en línea]. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf> 2/02/2021
- DOF (1976). Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. Publicada en el Diario oficial de la Federación el 29 de diciembre de 1976. Ciudad de México, 156 pp.
- DOF (2013). Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de mayo de 2013 [en línea]. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299465 12/09/2020
- DOF (2019). Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de julio de 2019 [en línea]. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599 12/09/2020

- Espinoza-Pérez A.T., Camargo M., Narváez-Rincón P.C. y Alfaro-Marchant M. (2017). Key challenges and requirements for sustainable and industrialized biorefinery supply chain design and management: A bibliographic analysis. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 69, 350-359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.084>
- European Commission (2021). Eurostat waste statistics. Waste statistics 2018 [en línea]. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics 25/04/2021
- European Environment Agency (2016). Municipal waste management across European countries [en línea]. https://www.eea.europa.eu/publications/municipal-waste-management-across-european-countries/copy_of_municipal-waste-management-across-european-countries 25/04/2021
- European Environment Agency (2019). Diversion of waste from landfill. Indicator assessment [en línea]. <https://www.eea.europa.eu/ims/diversion-of-waste-from-landfill> 25/04/202
- IRENA (2015a). Renewable energy capacity statistics 2015. International Renewable Energy Agency [en línea]. <https://www.irena.org/publications/2015/Jun/Renewable-Energy-Capacity-Statistics-2015.pdf> 5/05/21
- IRENA (2015b). Renewable energy target setting 2015. International Renewable Energy Agency [en línea]. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_RE_Target_Setting_2015.pdf 5/05/21
- Naciones Unidas (2015). Agenda 2030 para el desarrollo sostenible de las Naciones Unidas. Asamblea General de las Naciones Unidas [en línea]. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopto-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/> 10/09/2020
- OECD (2017). Biorefineries models and policy. Working Party on Biotechnology, Nanotechnology and Converging Technologies. Organisation for Economic Co-operation and Development [en línea]. [https://one.oecd.org/document/DSTI/STP/BNCT\(2016\)16/FINAL/en/pdf](https://one.oecd.org/document/DSTI/STP/BNCT(2016)16/FINAL/en/pdf) 5/05/2021
- Parajuli R., Dalgaard T., Jorgensen U., Adamsen A.P.S., Knudsen M.T., Birkved M., Gylling M. y Schjorring J.K. (2015). Biorefining in the prevailing energy and materials crisis: A review of sustainable pathways for biorefinery value chains and sustainability assessment methodologies. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 43, 244-263. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.041>
- Parisi C. (2020). Distribution of the bio-based industry in the EU. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/745867>
- Poggi-Varaldo H.M., Muñoz-Páez K.M., Escamilla-Alvarado C., Robledo-Narváez P.N., Ponce-Noyola M.T., Calva-Calva G., Ríos-Leal E., Galíndez-Mayer J., Estrada-Vázquez C., Ortega-Clemente A. y Rinderknecht-Seijas N.F. (2014). Biohydrogen, biomethane and bioelectricity as crucial components of biorefinery of organic wastes: A review. *Waste Manage. Res.* 32 (5), 353-365. <https://doi.org/10.1177/0734242X14529178>
- Sadhukhan J., Martínez-Hernández E., Murphy R.J., Ng D.K.S., Hassim M.H., Siew Ng K., Yoke Kin W., Jaye I.F.M., Leung Pah Hang M.Y. y Andiappan V (2018). Role of bioenergy, biorefinery and bioeconomy in sustainable development: Strategic pathways for Malaysia. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 81, 1966-1987. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.007>
- SEMARNAT (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicada por el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero. Ciudad de México, México, 128 pp.
- SEMARNAT (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicada por el Diario Oficial de la Federación el 18 de enero. Ciudad de México, México, 56 pp.
- SEMARNAT (2009). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, México, 87 pp.
- SEMARNAT (2012). Ley General de Cambio Climático. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicada por el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio. Ciudad de México, México, 64 pp.
- SEMARNAT (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, México, 64 pp.
- SEMARNAT (2018). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2017-2018. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, México, 82 pp.
- SEMARNAT (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos. Secretaría del

Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México, México, 274 pp.

SENER (2008). Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos. Secretaría de Energía. Publicada por el Diario Oficial de la Federación el 1 de febrero. Ciudad de México, México, 12 pp.

SENER (2015). Ley de Transición Energética. Secretaría de Energía. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de diciembre. Ciudad de México, México, 31 pp.

SENER (2020). Balance Nacional de Energía 2019. Secretaría de Energía [en línea]. <https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia-2019> 10/05/2021

Sotelo-Navarro P.X., Poggi-Varaldo H.M. y Ponce-Noyola M.T. (2021). Situación de las biorrefinerías en México y países selectos: una revisión.

Memorias. VI Congreso Internacional de Química e Ingeniería Verde. Modalidad virtual 8 al 10 de septiembre, 2021 [en prensa].

US-EPA (2020). Advancing sustainable materials management: 2018 fact sheet. Assessing trends in materials generation and management in the United States [en línea]. https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/2018_ff_fact_sheet_dec_2020_fnl_508.pdf 15/05/2021

US-EPA (2021). EPA/903/S-21/001. Anaerobic digestion facilities processing food waste in the United States (2017 & 2018). United States Environmental Protection Agency [en línea]. https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-02/documents/2021_final_ad_report_feb_2_with_links.pdf 02/05/21