



EL POTENCIAL DE LA BIOMASA EN LA ENERGÍA

ESTUDIO EJECUTIVO PARA
TOMADORES DE DECISIONES

Mayo 2019



UK Government

Polea
POLÍTICA Y LEGISLACIÓN AMBIENTAL

Introducción

El desarrollo de cualquier actividad económica, como la producción y consumo de bienes y servicios genera residuos, los cuales, si no se gestionan de manera adecuada, sólo serán percibidos como basura o desechos que en la mayoría de los casos tienen repercusiones muy graves, no solo en el ambiente, sino también en la salud pública.

Para promover la gestión adecuada de los residuos, México ha desarrollado un marco normativo amplio que incluye a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), y diversos instrumentos de política pública tales como el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, programas estatales y municipales, entre otros. Asimismo, el país ha firmado los acuerdos internacionales correspondientes para manejar residuos y sustancias químicas de prioridad global, complementado así la gestión integral a nivel nacional.

A pesar de los avances, el país presenta aún retos importantes relacionados tanto con la adecuada gestión de los residuos generados, como con su reducción y disposición final adecuada. Actualmente, el país genera más de 44 millones de toneladas anuales de residuos y se espera que este número alcance 65 millones para el año 2030 (SEMARNAT, 2019) y sigue prevaleciendo todavía la disposición final de los residuos en tiraderos a cielo abierto o en rellenos sanitarios, que frecuentemente operan de manera ineficiente y generan impactos importantes sobre la salud humana y el ambiente.

Aunado a esto, tenemos el problema del cambio climático. En el 2015, México emitió 683 millones de toneladas de dióxido de carbono lo que representa el 1.38% de las emisiones mundiales, siendo el sector residuos responsable del 7.9% del total de emisiones en el país (INECC, 2018).

A nivel mundial, el agotamiento de los combustibles fósiles y el cambio climático han promovido la creciente búsqueda e implementación de fuentes de energías renovables. Una de ellas es la bioenergía, entendida como la energía derivada de la conversión de biomasa¹ la cual puede ser utilizada directamente como combustible o transformada en líquidos y gases que a su vez se utilizan en la generación de electricidad, a través de un proceso convencional (SENER, 2018).

¹ La biomasa es un compuesto orgánico cuya materia deriva de las actividades agrícola, pecuaria, silvícola, acuicultura, algacultura, residuos de la pesca, residencial, comercial, industrial de microorganismos y de enzimas. Se considera una fuente de energía renovable con gran potencial energético.

México tiene un gran potencial para aprovechar sus residuos orgánicos -que representan alrededor del 50% del total de los residuos del país- en la generación de bioenergía, lo cual podría contribuir tanto para reducir la cantidad de residuos en los rellenos sanitarios, como para mitigar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), e incluso para diversificar la matriz energética actual con un impacto positivo en la seguridad energética nacional.

Al cierre del 2016, el Sistema de Información Energética (SIN) del país tenía registradas 75 plantas de bioenergía, y se preveía que entre 2017 y 2031 se construyeran 36 nuevas plantas, lo cual implicaría un incremento de 6.3% anual de la capacidad de generación eléctrica con bioenergía incorporando combustible proveniente de biogás, bagazo de caña de azúcar (residuo generado en los ingenios azucareros) y residuos sólidos (SENER, 2017).

El presente documento realizado con el apoyo del Gobierno de Reino Unido a través de los fondos BEIS del Programa UK PACT, esboza un panorama del complejo escenario de los residuos orgánicos en el país, pero también de los múltiples beneficios que se pueden derivar de su manejo adecuado, y de su potencial para convertirlos en energía. El objetivo es brindar información relevante a tomadoras y tomadores de decisiones para impulsar y fortalecer la gestión adecuada de los residuos orgánicos como una fuente renovable de energía, única en su tipo. Este documento también identifica y proporciona lineamientos para fortalecer la legislación y las políticas públicas en la materia.

PARTE 1. ESTUDIO EJECUTIVO SOBRE RESIDUOS

Los Residuos en México

Los residuos en México se definen en la LGPGIR como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, o son un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que pueden ser susceptibles de ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final.

De acuerdo con sus características y orígenes, los residuos en México se clasifican en tres grandes grupos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP) (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de residuos en México

Residuos Sólidos Urbanos	Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con
---------------------------------	---

	características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos.
Residuos de Manejo Especial	Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.
Residuos Peligrosos	Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.

Fuente: Elaboración propia con datos de la LGPGIR.

Residuos sólidos urbanos

Las cifras de la generación de RSU a nivel nacional que se han reportado en los últimos años presentan limitaciones importantes básicamente porque no se trata de mediciones directas, sino de estimaciones. De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) —ahora Secretaría del Bienestar— en 2011 se generaron alrededor de 41 millones de toneladas, lo que equivale a 112.5 mil toneladas de RSU diariamente, y la cifra más reciente de 2015 supone la generación de 44 millones de toneladas anuales. Debido a factores como el crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas y el cambio en los patrones de consumo, la generación de RSU ha incrementado notablemente en los últimos años.

El manejo adecuado de los RSU tiene como objetivo final proteger la salud de la población, reduciendo su exposición a lesiones, accidentes, molestias y enfermedades causadas por el contacto con los desperdicios, y evitar los impactos en los ecosistemas. México aún presenta retos importantes para tener un manejo adecuado de los RSU. En el ciclo de vida de los residuos, después de su generación existen diversas etapas que requieren ser fortalecidas en el marco normativo y en la implementación, entre éstas destacan la separación, recolección, reciclaje y disposición final.

El artículo 18 de la LGPGIR establece que los residuos sólidos urbanos podrán subclasificarse en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria. Los RSU orgánicos tienen un gran potencial para la generación de energía a partir de su aprovechamiento en rellenos sanitarios que puede derivar en la producción de biogás como fuente de energía eléctrica y térmica.

Se estima que la disposición de residuos sólidos urbanos en México en rellenos sanitarios es de 28.2 millones de toneladas anuales, con una composición aproximada de 53% de

residuos orgánicos, mismos que son enviados a 186 rellenos sanitarios. El biogás proveniente de los residuos orgánicos tiene una composición aproximada del 50% de metano y el otro 50% de CO₂ y otros gases, existiendo la posibilidad técnica de convertirlos en electricidad (SENER, 2012).

El adecuado aprovechamiento de los 186 rellenos sanitarios en todo el país podría generar entre 1,629 y 2,248 toneladas al año de metano, e instalar una capacidad entre 652 y 912 MW² de generación de energía eléctrica (SENER, 2012).

Impactos ambientales y de cambio climático

Las consecuencias ambientales de la inadecuada disposición de los residuos pueden ser negativas para la salud de las personas y de los ecosistemas naturales. Entre los impactos ambientales que generan se encuentran los siguientes:

- **Generación de contaminantes y de gases de efecto invernadero:** La descomposición de los residuos orgánicos produce biogases que pueden ser peligrosos debido a su toxicidad o explosividad. Algunos de ellos son también GEI que contribuyen al cambio climático. Los principales GEI derivados de los residuos son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), además del carbono negro. De acuerdo con la Contribución Nacionalmente Determinada (CND)³ de México, en el 2013 el sector residuos emitió 31 megatoneladas de dióxido de carbono, siendo el séptimo sector en emisiones a nivel nacional⁴ (Gobierno de la República Mexicana, 2014). Para reducir las emisiones de GEI provenientes del sector residuos se han

² En perspectiva, un megawatt/hora (MW) supone una cantidad de energía que puede dar electricidad a una media de 330 viviendas en una hora; un Mega equivale a un millón de unidades.

³Las CND surgieron bajo el Acuerdo de París como un mecanismo mediante el cual los países presentan públicamente sus planes para contribuir con los esfuerzos internacionales de reducción de emisiones de GEI con la finalidad de mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C. Las CND presentan las políticas climáticas de los países y sus acciones para reducir las emisiones y adaptarse al cambio climático en numerosos sectores. Las CND son elaboradas de acuerdo con las prioridades, posibilidades, procesos y capacidades de cada país.

La Contribución de México contiene dos componentes, uno de mitigación y otro de adaptación. El componente de adaptación contempla dos tipos de medidas: las no condicionadas, que se refieren a aquellas que el país puede solventar con sus propios recursos, y las medidas condicionadas, que requieren del establecimiento de un nuevo régimen internacional de cambio climático en el cual México pudiera obtener recursos adicionales y lograr mecanismos efectivos de transferencia de tecnología.

⁴ De acuerdo con sus emisiones los sectores que más contribuyen al cambio climático son: Transporte, generación de electricidad, residencial y comercial, petróleo y gas, industria, agricultura y ganadería, residuos y USCUSS.

creado acciones como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)⁵ y la Iniciativa Global de Metano (GMI, por sus siglas en inglés).⁶

- **Adelgazamiento de la capa de ozono:** Las sustancias agotadoras del ozono (SAO) que se emplean en la fabricación de envases de unicel, como propulsores de aerosoles para el cabello, en pinturas y desodorantes, plaguicidas, así como en refrigeradores y climas artificiales contribuyen al ser liberadas a la atmósfera con el adelgazamiento de la capa de ozono. Cuando los envases de estos productos son desechados de manera inadecuada se convierten en fuentes de emisión de SAO.
- **Contaminación de suelos y cuerpos de agua:** La descomposición de los residuos y su contacto con el agua puede generar lixiviados⁷ que contienen en forma disuelta o en suspensión, sustancias que se infiltran en los suelos o escurren fuera de los sitios de depósito. Los lixiviados pueden contaminar los suelos y cuerpos de agua provocando su deterioro y representando un riesgo para la salud humana y de los demás organismos.
- **Proliferación de fauna nociva y transmisión de enfermedades:** Los residuos orgánicos que se disponen atraen un numeroso grupo de especies de insectos, aves y mamíferos que pueden transformarse en vectores de enfermedades peligrosas como la peste bubónica, tifus murino, salmonelosis, cólera, leishmaniasis, amebiasis, disentería, toxoplasmosis, dengue, fiebre amarilla, entre otras. (SEMARNAT, 2015)

⁵ El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es un procedimiento contemplado en el Protocolo de Kioto en el cual países desarrollados pueden financiar proyectos de mitigación de emisiones de GEI dentro de países en desarrollo, y recibir a cambio Certificados de Reducción de Emisiones aplicables a cumplir con su propio compromiso de reducción. Los MDL siguen vigentes bajo el Acuerdo de París.

⁶ La Iniciativa Global de Metano (GMI) es una asociación voluntaria y multilateral que tiene como objetivo reducir las emisiones de metano a nivel mundial y promover la disminución, recuperación y uso del metano como una fuente valiosa de energía limpia. La GMI logra esto mediante la creación de una red internacional de socios gubernamentales, miembros del sector privado, bancos de desarrollo, universidades y organizaciones no gubernamentales para realizar evaluaciones, desarrollar capacidades, crear alianzas y compartir información para facilitar el desarrollo de proyectos para la reducción de metano en los países socios.

⁷ Los lixiviados son los líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contienen en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que pueden dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando deterioro, y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos (LGPGIR).

Los residuos sólidos orgánicos

Municipales

Los residuos municipales se refieren principalmente a los materiales desechados por los domicilios, pero también incluyen algunos desechos comerciales e industriales que son de naturaleza similar y que se depositan en los vertederos municipales. Los residuos municipales están compuestos principalmente por papel, desechos alimenticios, madera, residuos de poda, algodón, cuero, metales, vidrios, y derivados del petróleo como plásticos, gomas y telas sintéticas (Moratorio, Rocco, & Castelli, 2012).

Al igual que en el plano federal, a escala municipal existen retos importantes para la gestión adecuada de los residuos. En el país hay 143 municipios que no cuentan con servicio alguno de recolección y disposición. La región sur integrada por Veracruz, Guerrero, Oaxaca y Chiapas es la que tiene más municipios y una mayor cantidad de localidades menores a 10 mil habitantes, sin embargo, la cobertura de recolección y disposición es de tan solo 69% (SEMARNAT, 2019).

Considerar a los residuos orgánicos municipales como fuentes de energía puede evitar que acaben en rellenos sanitarios.

Agrícolas e ingenios azucareros

La agricultura en México es más que un sector productivo importante. A pesar de que su contribución al PIB es escasa: 3.4%, la agricultura tiene un gran impacto en los ámbitos económico, social y ambiental por lo que este sector es clave en el desarrollo del país, más allá de su aporte al PIB (Banco Mundial, 2016).

Los residuos agrícolas son aquellos derivados de las actividades productivas en las parcelas, huertas, campos de cultivos, invernaderos y otros espacios destinados para ello, principalmente conformados por dos tipos: residuos vegetales e insumos productivos. La mayor cantidad de residuos vegetales (70%) son reincorporados en las actividades productivas, generando solamente un 30% de residuos que incluyen: restos de hojas, tallos y coronas de raíces semi descompuestos, y residuos de insumos para la producción que no son clasificados como peligrosos (SAGARPA, 2015).

En el caso particular de los ingenios azucareros se está iniciando la cogeneración ampliada y eficiente de electricidad con bagazo. El potencial de biomasa en el sector azucarero es alentador si se considera que por cada 100 toneladas de caña procesada se generan entre 10 y 12 toneladas de azúcar, y se producen entre 25 y 30 toneladas de bagazo en las

instalaciones, mientras que en el campo quedan entre 5 y 7 toneladas que se pueden recolectar (CONADESUCA, 2015).

El Programa de Colaboración México-Dinamarca en Materia de Energía y Cambio Climático ha señalado que en México la cogeneración debe verse como una oportunidad para fortalecer la viabilidad de los ingenios azucareros a largo plazo. Este enfoque traería los siguientes beneficios: aumento de la capacidad de producción de azúcar mediante el enfoque en ahorro de energía y cogeneración; incremento de la eficiencia y disminución de la necesidad de capacidad de vapor adicional; cambio en la mentalidad como un ingreso adicional a partir de la venta de electricidad y/o vapor; reducción de emisiones de los ingenios azucareros, y mayor solidez financiera en un mercado fluctuante de azúcar.

Aunque el sector azucarero ya está involucrado en la bioenergía, aún no ha explotado su máximo potencial. De acuerdo con la Secretaría de Energía (SENER) la capacidad de generación de bagazo experimentó un aumento del 28.6% entre el 2007 y el 2018, alcanzando los 996 MW en el 2017, además durante el periodo 2014-2015 el 82% de los ingenios azucareros mexicanos disminuyeron su huella de carbono a través de la cogeneración de electricidad y vapor para el proceso de producción.

Asimismo, la SENER ha estimado que a partir de la aplicación de nuevas tecnologías para uso en cogeneración de energía eléctrica para el año 2025, los 57 ingenios azucareros registrados en el país podrían alcanzar un potencial técnico máximo de cogeneración de 1,025 MW y neto de 979 MW (SENER, 2012).

Pecuarios y estiércol

Los residuos pecuarios o ganaderos son aquellos que se generan como resultado de la cría intensiva o extensiva de ganado. (Agencia Extrameña de la Energía, 2013) Estos residuos, en particular el estiércol, tienen un gran potencial para ser aprovechados a través de plantas de biodigestión para producir biogás, útil como combustible para la industria, así como para la elaboración de subproductos líquidos y semisólidos que son utilizados nuevamente para la agricultura como mejoradores de suelo.

El 90% de las granjas porcinas, así como el 95% de los establos bovinos lecheros de México son aptos para el uso de biodigestores. Sin embargo, de acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) —ahora Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER)— solo el 8% de las granjas porcícolas formales del país cuentan con un sistema de biodigestión anaerobia y de estas aproximadamente el 25% cuentan con motogeneradores (SEMARNAT, 2012).

El país ha instrumentado diversas acciones para fomentar el uso y aplicación de la energía renovable en el sector agropecuario, a fin de generar desarrollo rural sustentable que

coadyuve a disminuir los impactos negativos en el medio ambiente. Dichas acciones han incluido la generación de biogás a partir del estiércol de animales de granjas porcinas, establos lecheros y corrales de engorda, mismos que son sometidos a un proceso de biodegradación anaeróbica⁸ en biodigestores del tipo laguna, el cual puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica (SENER, 2012).

Con la tecnología y manejo adecuado de excretas de ganado porcino, el país tendría un potencial de generación eléctrica de 246 a 492 MW. De igual manera, el aprovechamiento con excretas bovinas lecheras podría generar 5.4 millones de toneladas anuales de metano y un potencial de generación de energía eléctrica de 2,645 a 5,447 MW. (SENER, 2012)

Maderables

Los residuos maderables en México tienen un gran potencial para la generación de bioenergía, incluso se ha considerado a los bosques y selvas nativos como la fuente más importante de biomasa en el país (SEMARNAT, 2016). A pesar de ello, muchos aserraderos han considerado a sus residuos como un subproducto poco útil y han promovido su eliminación para relleno de terrenos o a través de la incineración en quemadores generando impactos ambientales importantes.

Muchos bosques y selvas ya están bajo esquemas de manejo forestal y cuentan con permisos de aprovechamiento, pero es necesario fortalecer las oportunidades en el mercado para el uso de su potencial energético. A nivel nacional el volumen de la producción forestal de acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) fue de 6.7 millones de m³ para el 2016, y sólo cinco estados contribuyeron con el 68.6% de la producción total, equivalente a 4.6 millones de m³: Durango (35.1%), Chihuahua (13.2%), Veracruz (7.8%), Michoacán (6.7%) y Oaxaca (5.9%). Lo que demuestra que hay un área de oportunidad no aprovechada por parte de los otros estados (SEMARNAT, 2016).

En México, hasta un 70% de bosques y selvas se encuentra bajo esquemas de propiedad social siendo muchos de ellos manejados sustentablemente por ejidos y comunidades que generan beneficios ambientales, sociales y económicos. Un aspecto pendiente en el país es generar más apoyos e incentivos para detonar el empleo y las economías de las comunidades locales con la finalidad de evitar el cambio de uso de suelo forestal a agrícola o pecuario, lo cual generaría beneficios para el sector forestal si se considera bajo manejo sustentable con potencial energético.

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) con la finalidad de analizar las oportunidades de la generación de energía a partir de la biomasa forestal, impulsó el desarrollo de cuatro

⁸ La biodegradación anaeróbica comprende la degradación de la materia orgánica por bacterias, sin oxígeno.

estudios que determinan las opciones más viables para el uso con fines energéticos de los residuos de aprovechamientos y aserraderos comunitarios, resultando como principales zonas con potencial el Ejido El Largo, Chihuahua; la Región El Salto, Durango; Ejido El Balcón, Guerrero, y Ejido Noh-Bec, Quintana Roo (SENER, 2012).



En el municipio de Santiago Papasquiaro, Durango se inauguró a finales del 2018 la primera planta de cogeneración eléctrica que producirá 490 kw/h y que se abastecerá de los residuos de la empresa forestal comunitaria Grupo SEZARIC, la cual está conformada por 29 ejidos y 11 comunidades que realizan un manejo sustentable de sus bosques. Con esta planta se estima que la empresa reducirá hasta en un 75% su facturación eléctrica.

Los recursos maderables también destacan por su potencial térmico, aunque el calor producido con estos residuos es inferior al procedente del petróleo o gas, su costo en comparación con los combustibles fósiles lo hace una fuente interesante. La leña es la principal fuente renovable en México y la más utilizada, especialmente en el sur y el sureste del país; su consumo está asociado al acceso a otros combustibles, a prácticas culturales y al poder adquisitivo de la población. Esta fuente térmica solo es sustentable si proviene de un manejo adecuado, lo cual puede contribuir también al desarrollo económico y social de las comunidades y ejidos forestales.

Potencial energético de los residuos orgánicos como biomasa y biogás: Retos y oportunidades

En el mundo, de acuerdo con el Consejo Mundial de Energía, la biomasa suministra alrededor del 10% del consumo anual de energía y se estima que para el año 2050 contribuirá con alrededor del 30% de la energía requerida.

Varios países están volteando a ver los residuos orgánicos como fuentes de calor y electricidad con un gran potencial no sólo por su valor energético, sino por los co-beneficios en términos de ingresos económicos, sanidad ambiental, salud pública, fuente de empleos y reducción de emisiones de GEI. Diversos especialistas entrevistados señalan que se debe considerar que, si se deja sin tratamiento o al aire libre, la biomasa puede contribuir con el cambio climático pues produce metano, un GEI aún más contaminante, comparado con el CO₂.

Suecia ha sido un caso exitoso ya que desde 1980 decidió limitar los combustibles fósiles y nucleares y reorientar su estrategia energética hacia las energías renovables. Para 2007, la biomasa aportaba a este país el 57% del calor, el 9.2% de la electricidad y el 4.9% de los combustibles automotores (Huacuz Villamar, 2015).

En el Reino Unido se ha reconocido el potencial de la biomasa, por lo que para el 2017 se tenía una capacidad instalada para 2.5 MW a través de 39 plantas transformadoras de biomasa en energía, a lo largo de su territorio. Tan solo para el año 2017, 15 nuevas grandes plantas estaban en proceso de construcción por lo que la apuesta del gobierno británico, a través de fuertes subsidios, se refleja en el avance de este sector como prioritario (Tolvik, 2017).

El caso de Dinamarca también es relevante ya que desde 1980 la regulación ambiental se volvió más estricta; granjas e industrias lograron desarrollar plantas de biogás especialmente con base en lodos de estiércol. Con el apoyo del gobierno a biodigestores o plantas de biogás, Dinamarca también ha logrado resolver la disposición de residuos de industrias y granjas, ha mantenido sus acuíferos sin contaminación derivada de estos residuos, y utiliza o vende los residuos de las plantas como fertilizantes. Dinamarca está por completar una ambiciosa expansión de biogás que se realizará a través de apoyo financiero gubernamental, la cual incluirá nuevas formas de utilización del biogás en la red de gas natural, en procesos industriales y en el sector del transporte (The Danish Government, 2013).

En México hay disponible una gran cantidad de residuos de biomasa adecuados como combustible para la producción de energía. Los tipos de biomasa pueden incluir bagazo de la caña de azúcar; tallos de maíz; paja de trigo y sorgo; residuos forestales en forma de astillas o pellets⁹ (de aserrín). Por otra parte, existen otro tipo de residuos orgánicos aptos para la producción de biogás: las materias primas típicas incluyen estiércol, lodos de aguas residuales, residuos orgánicos industriales, residuos agrícolas y la parte orgánica de los residuos domésticos.

La SENER señalaba que para el primer semestre del año 2018, la capacidad instalada de la producción de electricidad del país a partir de energías limpias era del 31.45% o 23,874.92 MW (lo cual incluye en su mayoría a centrales hidroeléctricas). La Biomasa del bagazo y el biogás sólo representaban el 1.43% de la capacidad instalada en el país en total (SENERa, 2018).

⁹ De acuerdo a la RAE, los pellets se definen como una masa que se une y aprieta, regularmente en forma redonda. En el sector energético se entiende que son un tipo de combustible granulado alargado a base de madera.

Este es un recurso no fósil que el país tiene subutilizado y que por el contrario está acarreando impactos negativos en el medio ambiente como ya se mencionó previamente.

Tabla 2. Potencial de Generación Eléctrica con Fuentes Renovables 2016 (GWH)

Recursos	Geotérmica	Minihidráulica	Eólica	Solar	Biomasa
Posible	52,013	44,180	87,600	6,500,000	11,485
Probable	45,207	23,028	-	-	680
Probado	2610	4920	20,104	25,052	3326

Fuente: SENER “Prospectivas de Energías Renovables 2017-2031”

En el documento “Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables: Energía de la biomasa” la SENER menciona algunos de los beneficios de la inversión y desarrollo de energías renovables a partir de biomasa, incluyendo los siguientes:

- Un impacto en el PIB de alrededor de \$37,500 millones de pesos.
- Generación de alrededor de 31,000 empleos, especialmente en zonas agrícolas.
- Incremento de los ingresos tributarios en alrededor de \$3100 millones de pesos anuales.
- Captura del 8.6% del potencial de abatimiento en el sector energético de emisiones de CO₂ para el 2020, reduciendo 5,4 MtCO₂ en dicho año.
- Reducción de las pérdidas de transporte y distribución en el sistema eléctrico nacional (SENERa, 2012).

Uno de los retos más importantes a los que se enfrenta el sector eléctrico, es incrementar la eficiencia, disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los sistemas de transmisión y distribución. En este contexto es necesario construir nuevas líneas de transmisión y subestaciones que permitan interconectar las principales regiones con los recursos renovables del país (Gobierno de la República, 2013). Los retos más importantes que enfrentan los proyectos de generación a partir de biomasa y de biogás para abastecer la demanda de particulares son:

- I. -El elevado costo en la inversión inicial y la certidumbre para obtener los trámites y permisos necesarios ante diferentes autoridades.
- II. -El limitado acceso al financiamiento debido a la falta de conocimiento sobre las tecnologías de generación.
-Costo inicial de inversión por MW más alto en relación con las tecnologías tradicionales.
- III. -El periodo de recuperación de la inversión.

Alternativas y fortalecimiento del financiamiento

Los proyectos de energías renovables (cualquiera que sea su fuente) plantean desafíos relevantes para su implementación y expansión. Algunos de estos desafíos son el elevado costo de inversión y mantenimiento, la complejidad en la construcción, el acceso a la interconexión de la red eléctrica y los retornos económicos que no siempre son altos. Por estas razones es importante fortalecer mecanismos que puedan ayudar a superar estos desafíos, especialmente respecto al financiamiento.

México cuenta con el Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN), que apoya proyectos en los que participa el sector privado, pero que ha dado prioridad al fondeo de proyectos carreteros y escaso apoyo a proyectos de energías renovables. Los mecanismos más importantes de financiamiento para plantas de biogás en el sector agrícola han sido el Fondo de Riesgo Compartido (FIRCO) de la hoy SADER, el MDL y la Iniciativa M2M, cuyos requisitos, trámites y tiempos de autorización pueden desincentivar la mayoría de los proyectos de pequeños productores.

Recientemente México fue seleccionado por el *NAMA Facility*¹⁰ para recibir 13.9 millones de euros con el objetivo de promover energía renovable a partir de la biomasa del bagazo de los ingenios azucareros. El proyecto reducirá los costos de conexión de los ingenios azucareros a la red eléctrica y permitirá que puedan entregar energía renovable al sistema eléctrico mexicano. Bajo este esquema el valor de la energía del bagazo es igual al precio de la electricidad. El exceso de bagazo ya no sería percibido como un problema de gestión de residuos, en cambio apoyaría al país en la consecución de sus CND al reducir emisiones de GEI y de carbono negro. Este tipo de proyectos puede más adelante atraer la inversión del sector privado para replicar los resultados en más industrias. En Guatemala, por ejemplo, la industria azucarera aporta el 15.9% de participación en la matriz energética (Muñoz Solares, 2013 - 2014).

Una alternativa que ha funcionado en varios países es el establecimiento de Alianzas Público-Privadas donde -dependiendo de la modalidad y el alcance- los costos son asumidos entre el sector público (como acuerdos de compra de energías renovables por ciertos periodos de tiempo, disponibilidad de créditos, etc.) y el sector privado (inversión y Una alternativa que ha funcionado en varios países es el establecimiento de Alianzas Público-

¹⁰ El *NAMA Facility* o Fondo NAMA es un mecanismo que apoya a los países en desarrollo y a las economías emergentes que muestran ambición e interés para desempeñar un papel de liderazgo en el campo de la protección del clima. El Fondo pone a disposición los fondos necesarios para que estos países comiencen a implementar sus NAMA (medidas de mitigación apropiadas para cada país). Este mecanismo nació en 2012 a partir del apoyo del Ministerio Federal Alemán de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza, Construcción y Seguridad Nuclear (BMUB) y el Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial (BEIS) del Reino Unido.

Privadas donde -dependiendo de la modalidad y el alcance- los costos son asumidos entre el sector público (como acuerdos de compra de energías renovables por ciertos periodos de tiempo, disponibilidad de créditos, etc.) y el sector privado (inversión y operación de los proyectos). Este tipo de alianzas pueden tener diferentes objetivos: investigación, capacitación, desarrollo de proyectos, innovación tecnológica, creación de empresas, etc. El grado de riesgo, el compromiso gubernamental, acceso al financiamiento y muchas veces la aceptación de la población, son los criterios determinantes para atraer inversiones en este ámbito (CEPAL, 2012).

Diversos especialistas han señalado que los costos de transacción para acceder al financiamiento externo podrían ser elevados para proyectos pequeños y, además, se pueden presentar posibles limitaciones por parte del sector financiero (por ejemplo, desconocimiento de proyectos de biomasa, falta de familiaridad con la evaluación de riesgos, falta de información técnica que reduzca incertidumbres y brinde proyecciones para recuperar la inversión, entre otros).

Aunque parecería ajeno al tema, una barrera importante identificada por la SENER para la inversión en proyectos energéticos de biomasa y biogás es la situación de inseguridad en el país. La SENER en su documento “Iniciativa para el Desarrollo de las Energías Renovables en México” enlista los conflictos sociales en algunas regiones del territorio nacional como limitante significativa para la atracción de inversores privados.

Será fundamental para el país, desarrollar, fomentar y articular en la cadena de valor a los pequeños productores en los esquemas diversificados para el financiamiento de proyectos, así como fomentar la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos más eficientes y costeables al medio rural mexicano, lo cual además, coadyuvará con el cumplimiento de los objetivos de la Ley de Transición Energética, las metas del Acuerdo de París, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en el marco de la Agenda 2030, y las metas nacionales de reducción de la pobreza en las comunidades rurales menos favorecidas.

PARTE 2. DOCUMENTO CON PROPUESTAS LEGALES Y ANÁLISIS

Propuestas de políticas públicas para la gestión de la biomasa

El uso de la biomasa no solo debería verse en términos de generación de energía, sino como medida de mitigación ante el cambio climático. Las propuestas que se muestran a continuación responden a la lógica de fomentar el uso de biomasa residuales (secundarias o terciarias como cáscaras, paja, bagazo de caña, astillas de madera, estiércol, entre otros) que son recursos no aptos para la alimentación humana¹¹.

Un caso exitoso en la expansión del manejo adecuado y sustentable de residuos orgánicos para su conversión a biogás ha sido Dinamarca, como ya se mencionó anteriormente. Algunos de los incentivos que este país desarrolló y que México podría considerar como parte de sus políticas ambientales, agrícolas y energéticas son:

- Esquemas de apoyo gubernamentales focalizados.
- Impuestos sobre el consumo de combustibles fósiles.
- Prohibición para disponer residuos orgánicos en vertederos, basureros o rellenos sanitarios.
- Uso restringido de fertilizantes/estiércol en los campos.
- Establecimiento de tarifas diferenciadas por tratamiento de residuos.
- Apoyos a la investigación, desarrollo y pilotaje de nuevas tecnologías.
- Diálogo y planeación conjunta con los sectores involucrados a través de programas de seguimiento.
- Limitar el uso de cultivos energéticos (aptos para la alimentación humana) en la producción de biogás.

Si bien México ha incrementado su capacidad instalada a partir de fuentes de biomasa, todavía falta mucho para poder aprovechar todo el potencial del recurso. Algunas propuestas y buenas prácticas identificadas para fortalecer las sinergias y coordinación de los diferentes órdenes de gobierno e instituciones en la materia son:

- Mejorar la articulación entre los diferentes sectores interesados -gobierno, sociedad civil y sector privado- para dar atención integral al manejo de residuos. Especialistas proponen que sean los estados y no los municipios quienes asuman el control de los rellenos sanitarios y el destino final de los residuos urbanos.

¹¹ Por cuestiones éticas debería restringirse la combustión de biomasa primarias como cereales o semillas oleaginosas que sí son utilizadas para la alimentación humana.

- Mejorar la recolección de residuos en zonas rurales. En México, en 2012 la recolección ascendía al 93.4% de los residuos generados en promedio, sin embargo, mientras que en las ciudades medias fue de 80% y en las pequeñas de 26%, en las localidades rurales o semiurbanas alcanzó solo el 13% (SEMARNAT, 2015).
- Promover la disposición o confinamiento de residuos de manera coordinada entre estados y/o municipios. De acuerdo con la SEMARNAT, sólo el 4.5% en las localidades rurales o semiurbanas cuenta con sitios controlados para la correcta disposición o confinamiento de sus residuos.
- Impulsar la coordinación interinstitucional entre SEMARNAT, SADER y SENER para el desarrollo, fomento e implementación de proyectos de biomasa.

Un caso exitoso de coordinación es el de Nuevo León en el que el gobierno estatal, municipal y la empresa privada Bioeléctrica Monterrey sumaron esfuerzos en el 2003 para crear una planta de generación de energía eléctrica a partir de biogás del relleno sanitario del Municipio de Salinas Victoria.



Propuestas legales

De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), un marco legislativo robusto es la base para eliminar barreras, estimular la inversión con incentivos apropiados, establecer regulaciones y sanciones, desplegar una política medioambiental para energías renovables y proporcionar incentivos especiales para financiar nuevas tecnologías.

Para superar los retos del sector de las energías renovables en el contexto nacional es necesario que el gobierno federal y los legisladores trabajen de manera conjunta con la finalidad de actualizar el marco normativo vigente en México buscando impulsar el desarrollo de la generación de energía, por ejemplo, a través del aprovechamiento de los residuos orgánicos. Además, el marco legislativo debe favorecer el tratamiento de los residuos y aprovechar la producción de energías renovables para fortalecer la seguridad energética sin detrimento del ejercicio de los derechos a la salud y al medio ambiente sano. En este sentido, se presentan las siguientes propuestas:

Definiciones	<p>Revisar las leyes vigentes para actualizar e incorporar términos como la termo valorización, el aprovechamiento de energía a través de los residuos biomasa, economía circular, política de cero residuos, entre otros. Las leyes a revisar incluyen la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (la cual fue publicada desde 2008 y no ha tenido ninguna actualización desde entonces); la Ley de Transición Energética; la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos; la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente; la Ley de la Industria Eléctrica; la Ley General de Cambio Climático, y la Ley de Aguas Nacionales, tan solo por mencionar algunas de ellas.</p>
Atribuciones	<p>Revisar las facultades y atribuciones que otorga la LGPGIR a los distintos órdenes de gobierno desde la Constitución. Actualmente las autoridades municipales están facultadas constitucionalmente para la prestación del servicio público de la limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos y por lo tanto son las que resienten la carga presupuestal y social en el manejo del tema. Como se mencionó anteriormente, los especialistas coinciden en que sean los estados y no los municipios quienes asuman el control de los rellenos sanitarios y el destino final de los residuos urbanos.</p>
Incentivos	<p>Incorporar incentivos fiscales y de otro tipo en el marco regulatorio para la producción sustentable y el uso de bioenergéticos, así como facilidades para realizar inversiones. Los incentivos fiscales deben considerar a las empresas privadas para fomentar que inviertan en investigación y desarrollo de tecnologías basadas en residuos orgánicos o biomasa.</p> <p>Impulsar por medio de incentivos la generación de energía por medio de residuos que no tengan impactos negativos al medio ambiente y reduzcan las emisiones de GEI.</p> <p>Incorporar incentivos a la investigación y fomento de tecnologías que realicen procesos de aprovechamiento de residuos y su respectiva transformación a energía, de manera más eficiente y con la menor emisión de GEI.</p>
Sanciones	<p>Establecer sanciones en caso de incumplimiento de las metas referentes a la generación de energías renovables, eficiencia energética, y reducción de emisiones de gases efecto invernadero.</p> <p>Incorporar en la legislación sanciones para desincentivar las descargas de residuos orgánicos en rellenos sanitarios, en drenajes o alcantarillado público.</p>
Mecanismos	<p>Establecer mecanismos para desarrollar investigaciones científicas y tecnológicas sobre fuentes renovables de energía y garanticen la seguridad energética del país.</p> <p>Establecer un mecanismo de revisión y evaluación de impactos positivos y negativos por la implementación de políticas que favorezcan la construcción de plantas generadoras de energía por medio de residuos.</p> <p>Mejorar y fortalecer los mecanismos existentes en materia de monitoreo y reducción de emisiones de contaminantes.</p> <p>Establecer mecanismos que fomenten el desarrollo rural de las zonas marginadas, o municipios en donde se generen mayor volumen de residuos, y que cuenten con población en condiciones de vulnerabilidad.</p> <p>La LGPGIR y su Reglamento requieren ser revisados a fin de incorporar mecanismos y una metodología que aplique en todo el territorio nacional para facilitar la integración de inventarios y diagnósticos básicos de residuos, así como para impulsar la creación de la infraestructura requerida para su valorización material y energética, tratamiento y/o disposición final, acorde a las distintas regiones del país.</p>

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Fortalecimiento de la legislación vigente</p>	
	<p>La legislación general de los tres tipos de residuos en México -sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos- es perfectible y demanda ser mejorada. Se requiere legislación marco para cuestiones relacionadas con la gestión de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, que no son cubiertas ni en la LGPGIR ni en su Reglamento.</p>
	<p>La gestión eficiente y responsable de residuos, agua y energía, así como la gestión sostenible de los recursos naturales, deberá ser fundamental para el desarrollo sustentable del país, esto debe ser incorporado en la legislación vigente como una de las políticas primordiales. Es deseable que sea establecido como parte integrante de la planeación de la política nacional a través de la actualización de la Ley de Planeación y el respectivo Plan Nacional de Desarrollo que cada nueva administración deberá proponer al Congreso de la Unión para su aprobación.</p>
	<p>Actualizar la Ley de Transición Energética con la finalidad de reforzar su objetivo primordial y asegurar que el Poder Ejecutivo Federal, incorpore de manera obligatoria políticas públicas que fortalezcan la producción de energía por medio de energías renovables -especialmente biomasa, reduzcan las emisiones de contaminantes y de GEI, y eliminen la dependencia de los combustibles fósiles.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Proyectos de producción de bioenergía</p>	<p>Cumplir con la creación de una nueva Ley General de Aguas la cual otorgue certeza jurídica y seguridad a las inversiones en el sector de las energías renovables, pero como se mencionó anteriormente, garantice también el derecho humano al acceso al agua.</p>
	<p>Establecer dentro del marco normativo la separación obligatoria de residuos orgánicos e inorgánicos, para poder mejorar e impulsar sustancialmente los costos de la producción de biogás.</p>
	<p>Fomentar la construcción de plantas generadoras de energía o productoras de insumos para aprovechamiento de los residuos, en zonas rurales o en aquellas en donde se priorice a las poblaciones con mayores índices de pobreza.</p>
	<p>Incorporar la realización obligatoria de análisis ambientales previos para la construcción de termo valorizadoras, plantas de biomasa, bioenergéticos o de generación de energía a través de residuos. Dichos análisis ambientales deberán considerar el agua a ser utilizada, así como los posibles impactos a la biodiversidad, atmósfera y a cualquier ecosistema localizado en el área respectiva.</p>
	<p>Establecer que no se deberá promover el cambio de uso de suelo en zonas destinadas a usos habitacionales, áreas naturales protegidas o cuya biodiversidad se ponga en riesgo por las industrias dedicadas a la generación de energía.</p>
	<p>Garantizar que solo se utilicen tierras degradadas y no pastizales vírgenes, bosques, áreas naturales protegidas, o cualquier otra que cuente con riqueza natural y de biodiversidad. Es necesario que se prioricen las zonas donde existan especies de flora o fauna endémicas, amenazadas, en peligro de extinción o sujetas a protección especial.</p>
	<p>Garantizar que se utilice la mínima cantidad de agua, respetando en todo momento el derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible.</p>
<p>Fomentar el aumento de proyectos de generación de energía, donde los insumos provengan de residuos: Para la producción de energía a través de residuos, deberá darse prioridad a la seguridad alimentaria y a la reducción de residuos generados por la población. No se deberá</p>	

	<p>fomentar o promover el consumo de más bienes para aumentar la cantidad de residuos disponibles.</p> <p>Valorar el establecimiento de un porcentaje mínimo de volumen de residuos que serán puestos a disposición de las plantas de generación de energía, es decir, se establecerían cuotas mínimas obligatorias a la Federación.</p> <p>Desarrollar regulaciones específicas para el manejo intensivo de recursos forestales para energía, el uso energético de residuos agrícolas, y el reciclado de nutrientes y de materia orgánica.</p> <p>Incorporar dentro de la legislación preceptos para promover una coordinación estratégica entre los tres niveles de gobierno, así como la participación de la sociedad civil y el sector privado.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Tratamiento de lodos residuales</p>	<p>Un tema muy técnico pero que tiene grandes implicaciones ambientales y energéticas es el del tratamiento de lodos residuales.</p> <p>Diversos especialistas han señalado que la legislación mexicana no facilita el reciclaje con anaerobios de lodos tratados de industrias ni de granjas porcinas para fines agrícolas. Es una práctica común en otros países el usar el digestato de plantas de biogás directamente como fertilizante en tierras agrícolas.</p> <p>En México, esos digestatos o mejoradores de suelo se importan como fertilizantes o agroquímicos y no hay legislación que permita usar los digestatos de las plantas de biogás. La NOM-004-SEMARNAT-2002 pide que si el biosólido se quiere usar como mejorador de suelos, tenga una concentración mínima de sólidos del 18%. Sin embargo, en un digestor húmedo la concentración es de 4-6% de sólidos, entonces no se puede usar a menos que se deshidrate. Lo mismo sucede con la NOM-001-SEMARNAT, que establece la calidad del agua si se pretende usar para riego. Esta NOM pide un máximo de sólidos suspendidos totales de 250 ppm, lo cual es muy bajo para el efluente de una digestor, por lo que tampoco se puede usar.</p> <p>Se requieren de ciertos ajustes a la regulación en la materia para evitar la eliminación innecesaria de nutrientes de los líquidos utilizados para el riego, sin embargo, al mismo tiempo es importante asegurar que la calidad del digestato sea adecuada y segura antes de ser utilizada para el riego o como fertilizante.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Presupuesto</p>	<p>Una cuestión fundamental que también corresponde al legislativo es la asignación de presupuesto público para atender las necesidades del sector e impulsar la transición del país hacia un mayor uso de energías renovables, incluyendo la biomasa.</p>

Conclusiones

El país tiene un gran potencial de recursos de biomasa para producir biocombustibles líquidos, sólidos y biogás. Entre estos destacan los residuos forestales, agrícolas, los de los ingenios azucareros, los pecuarios y los municipales. No obstante, actualmente, este tipo de fuentes renovables sólo contribuye con menos del 1% a la generación eléctrica nacional, y las tecnologías utilizadas para el aprovechamiento energético de la biomasa en el país aún son ineficientes derivando en un desperdicio de recursos y energía.

México requiere desarrollar acciones afirmativas a favor del desarrollo de proyectos de energías renovables de residuos orgánicos para transparentar, facilitar y agilizar los trámites y autorizaciones que permitan su implementación, con el objetivo de brindar certidumbre a las inversiones en investigación, implementación, mantenimiento e interconexión.

La propuesta es dejar de ver los residuos orgánicos como un problema de basura y empezar a verlos como una fuente renovable, accesible, rentable y cuya energía puede fácilmente almacenarse -como es el caso del biogás-. Como ya se mencionó, el manejo adecuado de la biomasa ofrece muchas soluciones en términos ambientales, sociales y económicos por lo que su potencial -no sólo energético- debería tener políticas, programas y financiamiento preferencial frente a las otras fuentes renovables de energía, que no poseen ni brindan tantos beneficios.

Bibliografía

- Agencia Extrameña de la Energía. (2013). *Los residuos ganaderos*. Cáceres: Agencia Extrameña de la Energía.
- Banco Mundial. (2016). *Agricultura, valor agregado (% del PIB) por país*.
- Banco Mundial. (2012). *Carbon Dioxide Information Analysis Center*. Obtenido de https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.LF.KT?end=2012&most_recent_year_desc=false&start=2011
- Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA). (2015). *Informe Estadístico del Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar, ZAFRAS 2008/09 - 2014/15. México*, citado por el Colegio de Ingenieros Ambientales de México (CITAM).
- (2017) *Evaluación del Potencial de la Biomasa como parte de la matriz energética de México*.
- CEPAL. (2012). *Las alianzas público-privadas en energías renovables en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- FAO. (2015). *Aprovechamiento potencial de los residuos de madera para la producción de energía*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/T0269S/T0269S10.htm>
- García, C., & Masera, O. (2016). *Estado del arte de la bioenergía en México*. CDMX: Red Temática de Bioenergía del CONACYT.
- Gobierno de la República. (2013). *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables 2013-2018*. CDMX: SENER.
- Gobierno de la República Mexicana. (2014). *Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el Período 2020-2030*. CDMX: Gobierno de la República Mexicana.
- Huacuz Villamar, J. (2015). *La biomasa en la transición energética de México*. *Boletín IIE*, 56-63.
- INECC. (2018) *Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto invernadero*. CDMX: SEMARNAT
- INECC. (2012). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. CDMX: SEMARNAT.
- Moratorio, D., Rocco, I., & Castelli, M. (2012). *Conversión de Residuos Sólidos Urbanos en Energía*. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*(10), 115-126.

- Muñoz Solares, M. (2013 - 2014). Development of cogeneration in Guatemala. *Memoria Anual de Resultados*.
- REMBIO. (2011). *La Bioenergía en México: Situación actual y perspectivas*. CDMX: Red Mexicana de Bioenergía A.C.
- SAGARPA. (2015). *Plan de Manejo de Residuos Generados en Actividades Agrícolas Primera Etapa: Diagnóstico Nacional*. CDMX: SAGARPA.
- SEMARNAT. (2019). *Visión Nacional Hacia una Gestión Sustentable: Cero residuos*. CDMX: SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2015). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. CDMX: SEMARNAT.
- SENER. (2018) *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2018-2032*. CDMX
- SENERa. (2018) *Reporte de avance de energías limpias, Primer semestre del 2018*. CDMX
- SENER. (2017) *Prospectiva de Energías Renovables 2017-2031*. CDMX
- SENERa. (2012). *Iniciativa para el Desarrollo de las Energías Renovables en México*. CDMX: SENER.
- SENER. (2012). *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*. CDMX: SENER.
- The Danish Government. (2013). *The Danish Climate Policy Plan: Towards a low carbon society*. Copenhagen: Ministry of Climate, Energy and Building.
- Tolvik Consulting. (2017) *UK Dedicated Biomass Statistics -2017*