SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

Mapa de Ruta Tecnológica Biodiésel

2017

Secretaría de Energía

Pedro Joaquín Coldwell
Secretario de Energía

Leonardo Beltrán Rodríguez
Subsecretario de Planeación y Transición Energética

Fernando Zendejas Reyes
Subsecretario de Electricidad

Aldo Flores Quiroga
Subsecretario de Hidrocarburos

Gloria Brasdefer Hernández
Oficial Mayor

Carlos Roberto Ortiz Gómez
Director General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Formación de Recursos Humanos

Edgar Santoyo Castelazo

Director de Innovación Tecnológica

Revisión y Aprobación

Secretaría de Energía

Carlos Roberto Ortiz Gómez
Director General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Formación de Recursos Humanos

Luis Alfonso Muñozcano Álvarez
Director General Adjunto de Energías Renovables

Edgar Santoyo Castelazo
Director de Innovación Tecnológica

Sergio Gasca Álvarez
Director de Biocombustibles

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

Jesús G. Arroyo García
Director General de Fibras Naturales y Biocombustibles

Centro Mexicano de Innovación en BioEnergía –Clúster Biodiésel Avanzado

Georgina Sandoval Fabián
Responsable Técnico del Clúster Biodiésel Avanzado

Elaboración

En colaboración con el Instituto mexicano del petróleo

Ernesto Ríos Patrón
Director General

Rafael Ramos Palmeros
Director de Desarrollo de Talento

Raúl Cruz Marqués
Gerente de Gestión del Conocimiento

María Georgina Ortiz Gallardo
Jefa de Proyecto

Víctor Gerardo Ortiz Gallardo
Líder de la Unidad de Inteligencia Tecnológica Competitiva

Gabriela Matzallani Gómez Alvarado
Especialista

Agustín González Ortiz
Consultor externo

ÍNDICE

Agradecimientos 10
Introducción 11
Metodología general para la integración del mapa de ruta 13
Generalidades de la industria del biodiésel en México 17
Visión de la producción del biodiésel al 2030 28
Implementación de la visión 31
I. Acciones estratégicas: retos tecnológicos 31
I.a Producción y logística de recolección de materia prima 32
I.b Producción y logística de comercialización de biodiésel 44
II. Acciones habilitadoras para fomentar el desarrollo de la industria: Barreras 51
II.a Ámbito Regulatorio 52
II.b Ámbito Económico 53
II.c Ámbito Social 56
Diagrama 58
Conclusiones y acciones siguientes 59
Referencias 62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas generales para la integración del mapa de ruta de biodiésel 13
Figura 2. Componentes clave de la cadena de valor de los biocombustibles 18
Figura 3. Cadena de valor simplificada de la producción de biocombustibles 19
Figura 4. Visión para el desarrollo de la producción del biodiésel al 2030 29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de aceites de cultivos alimenticios como materia prima para la elaboración de biodiésel 20
Tabla 2. Ventajas y desventajas de aceites de cultivos oleaginosos como materia prima para la elaboración de biodiésel 20
Tabla 3. Ventajas y desventajas de aceites y grasas residuales como materia prima para la elaboración de biodiésel 21
Tabla 4. Ventajas y desventajas del material lignocelulósico como materia prima para la elaboración de biodiésel 22
Tabla 5. Ventajas y desventajas de aceites microbianos como materia prima para la elaboración de biodiésel 23
Tabla 6. Estado actual y potencial de materias primas para la producción de biodiésel 24
Tabla 7. Instituciones con actividad de investigación y desarrollo en temas relacionados con biodiésel 26
Tabla 8. Infraestructura relevante de laboratorios especializados de las instituciones integrantes del Clúster Biodiésel Avanzado 27
Tabla 9. Escenario propuesto de la evolución de la capacidad instalada para la producción de biodiésel 30
Tabla 10. Retos prioritarios para alcanzar la visión al 2030 32
Tabla 11. Retos relacionados con la producción y logística de recolección de la biomasa 33
Tabla 12. Acciones prioritarias sugeridas para asegurar el abasto de la materia prima para cumplir la meta de producción de biodiésel establecida 35
Tabla 13. Acciones prioritarias para incrementar la productividad de los cultivos 37
Tabla 14. Acciones prioritarias para reducir los insumos y costos de producción agrícolas 38
Tabla 15. Acciones prioritarias para optimizar la logística de acopio de materia prima y residuos 39
Tabla 16. Acciones prioritarias para optimizar tecnologías para incrementar el rendimiento de producción de aceite 41
Tabla 17. Acciones prioritarias para generar alternativas tecnológicas de pretratamiento que hagan rentable el uso de residuos 42
Tabla 18. Retos relacionados con la producción y logística de comercialización de biodiésel 44
Tabla 19. Acciones prioritarias para caracterizar y valorar co-productos en un esquema de biorrefinería 45
Tabla 20. Acciones prioritarias para definir procedimientos y lineamientos para realizar el mezclado de biodiésel 46
Tabla 21. Acciones prioritarias sugeridas para crear un programa de certificación de la calidad de biodiésel 48
Tabla 22. Acciones prioritarias sugeridas para ampliar la disponibilidad de infraestructura para la distribución de biodiésel 49
Tabla 23. Acciones prioritarias para escalar tecnología para la producción de biodiésel a nivel comercial a partir de aceites microbianos. 50
Tabla 24. Barreras que limitan el fortalecimiento del sector de biodiésel 51
Tabla 25. Acciones habilitadoras para definir los cultivos energéticos que pueden ser utilizados para la producción de biodiésel 52
Tabla 26. Acciones habilitadoras para liberar la normatividad del biodiésel (B100) y mezclas 53
Tabla 27. Acciones habilitadoras para impulsar el crecimiento del mercado de biodiésel 54
Tabla 28. Acciones habilitadoras para fomentar inversiones en plantas de mayor capacidad 55
Tabla 29. Acciones habilitadoras para promover el uso de biodiésel 56

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Unidad de biotecnología vegetal, ciatej campus Zapopan 27
Imagen 2. Transporte universitario, Universidad Autónoma de Querétaro 28
Imagen 3. Maquinaria de manufactura mexicana para producir biodiésel 30
Imagen 4. Higuerilla 36
Imagen 5. Biodiésel a partir de aceite virgen 41
Imagen 6. El color del biodiésel depende de la pureza del aceite 43
Imagen 7. Reactores para la producción de aceites microbianos 50
Imagen 8. Cultivo de palma de aceite 57

Abreviaturas y acrónimos

ANPACT	*Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones.*
ASEA	*Agencia de Seguridad, Energía y Medio Ambiente*
ASTM	*Sociedad Americana de Pruebas y Materiales por sus siglas en inglés*
BUAP	*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*
B100	*Biodiésel puro*
CEMIE-Bio	*Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía*
CEN	*Comité Europeo de Normalización*
CI	*Centros de Investigación*
CIATEC	*Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas*
CIATEJ	*Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco*
CIBNOR	*Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste*
CICESE	*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada*
CICY	*Centro de Investigación Científica de Yucatán*
CIDETEQ	*Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica*
CINVESTAV	*Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional*
CoIDT+i	*Comunidad de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación*
Clúster BDA	*Clúster Biodiésel Avanzado*
CONACYT	*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*
CRE	*Comisión Reguladora de Energía*
DOF	*Diario Oficial de la Federación*
FSE	*Fondo Sectorial CONACYT-SENER-Sustentabilidad Energética*
EMA	*Entidad Mexicana de Acreditación A.C.*
Ha	*Hectárea*
IEA	*International Energy Agency*
IES	*Instituciones de Educación Superior*
IMP	*Instituto Mexicano del Petróleo*
INECC	*Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*
INECOL	*Instituto de Ecología*
INIFAP	*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*
ITM	*Instituto Tecnológico de Mérida*
LPBD	*Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos*
MHa	*Millones de hectáreas*
MRT	*Mapa de Ruta Tecnológica*
ML/a	*Millones de litros anuales*

Mt/a	*Millones de toneladas anuales*
PEMEX	*Petróleos Mexicanos*
REMBIO	*Red Mexicana de bioenergía*
SAGARPA	*Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación*
SEMARNAT	*Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales*
SENER	*Secretaria de Energía*
TAR	*Terminal de Almacenamiento y Reparto*
UABC	*Universidad Autónoma de Baja California*
UADY	*Universidad Autónoma de Yucatán*
UADEC	*Universidad Autónoma de Coahuila*
UAG	*Universidad Autónoma de Guadalajara*
UAM	*Universidad Autónoma Metropolitana*
UNAM	*Universidad Nacional Autónoma de México*

Agradecimientos

El presente reporte se generó en el marco del proyecto "Desarrollo de los mapas de ruta tecnológicos para los Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIEs)" que el Instituto Mexicano del Petróleo realizó para el Fondo Sectorial CONACYT-SENER- Sustentabilidad Energética (FSE).

Damos las gracias al Fondo y a la Secretaría de Energía por su coordinación y liderazgo durante la realización de este proyecto.

Asimismo, agradecemos a los especialistas que a continuación se nombran por sus valiosas contribuciones durante los talleres realizados y el proceso de retroalimentación de este documento.

Mtro. Sergio Gasca Álvarez	*Secretaría de Energía - SENER*
Mtro. Jorge García Gutiérrez	*Comisión Reguladora de Energía - CRE*
Dra. Georgina Sandoval Fabián	*CEMIE-Bio, Clúster Biodiésel Avanzado - CIATEJ*
Dra. Lorena Amaya Delgado	*CEMIE-Bio, Clúster Biodiésel Avanzado - CIATEJ*
Dra. Leticia Casas Godoy	*CEMIE-Bio, Clúster Biodiésel Avanzado - CIATEJ*
Dra. Griselda Corro Hernández	*CEMIE-Bio, Clúster Biodiésel Avanzado - BUAP*
Dr. Julio César Sacramento Rivero	*CEMIE-Bio, Clúster Biodiésel Avanzado - UADY*
Dr. Manuel de Jesús Aguilar Vega	*CEMIE-Bio, Clúster Biodiésel Avanzado - CICY*
Dr. Francisco J. Rodríguez Valadez	*CEMIE-Bio, Clúster Biodiésel Avanzado - CIDETEQ*
Dra. Myriam Amezcua Allieri	*Instituto Mexicano del Petróleo - IMP*
Dra. Elizabeth Mar Juárez	*Instituto Mexicano del Petróleo - IMP*
Dr. Victor Pecina Quintero	*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - INIFAP*
Ing. Julián Javier Esquivel Hernández	*Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - SAGARPA*
Ing. Mauricio Pareja Ballivián	*SOLBEN*
M. en C. Carlo Enrique Muñoz López	*GREEN FUEL*
Dr. Carlos Góngora Canul	*BIOCOMM*
Ing. Gabriel Aguilar Guillermo	*BIOCOMM*
Ing. José Jiménez Jaime	*Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones - ANPACT*

Finalmente, hacemos un reconocimiento a Luis Janeiro de la empresa Ecofys, por proporcionar una visión de las acciones que se llevan a cabo a nivel internacional para fomentar el desarrollo de la industria del biodiésel y por sus valiosas contribuciones durante el desarrollo de los talleres.

Introducción

México cuenta con recursos que pueden ser aprovechados para la generación de biocombustibles en cantidades importantes. Tal es el caso del biodiésel. Desde hace más de una década se han construido plantas para la producción de biodiésel en México; sin embargo, esta industria aún no se ha consolidado.

Diversos estudios han señalado las ventajas ambientales que ofrece el diésel de origen vegetal en comparación con el proveniente de fuentes fósiles. No obstante, la penetración del biodiésel en México está sujeta totalmente a fuerzas de oferta y demanda. Por el lado de la oferta, se cuenta con una capacidad instalada incipiente, la cual se estima que apenas rebasa los 66 millones de litros anuales. Por el lado de la demanda, hoy en día no existen incentivos suficientes que motiven al sector transporte a utilizar este combustible.

Adicionalmente, los productores enfrentan problemáticas relacionadas al costo de producción y la rentabilidad. Esto debido a que el precio de venta del biodiésel está limitado por el de origen fósil. Por lo que para competir en el mercado, los productores se limitan a utilizar materias primas de bajo costo, por ejemplo: aceites vegetales y grasas animales residuales.

Para el Fondo Sectorial CONACyT-SENER-Sustentabilidad Energética (FSE), el aprovechamiento de combustibles provenientes de fuentes sustentables es un área de interés nacional, por lo que desde hace algunos años estableció diversas iniciativas encaminadas a fortalecer las capacidades científicas y tecnológicas del país para atender las principales problemáticas que limitan la competitividad de la industria de biocombustibles.

Una de las iniciativas consideradas estratégicas para este propósito, es la creación de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIEs). El propósito fundamental de los CEMIEs es coordinar de una manera más efectiva el aprovechamiento del potencial de energía renovable de que dispone el país.

El CEMIE enfocado en el aprovechamiento de la biomasa (CEMIE-Bio), está integrado por cinco clústers: Bioturbosina, Biocombustibles Gaseosos, Biocombustibles Lignocelulósicos para el Sector Autotransporte, Biocombustibles Sólidos y Biodiésel Avanzado (Clúster BDA). Este último, inició sus operaciones en el año 2016 y dentro de sus objetivos busca desarrollar, validar y asimilar tecnologías de vanguardia para la producción de biodiésel avanzado.

Otra de las iniciativas que realiza el FSE, es la elaboración de los mapas de ruta tecnológicos (MRT) al 2030 para diversos tipos de energía y biocombustibles, entre estos se encuentra el MRT de biodiésel. Con este mapa, el FSE busca disponer de instrumentos de planeación que le permitirán orientar recursos a proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación cuyos resultados tengan impacto en la industria de biocombustibles.

El MRT que se presenta en este documento considera sólo la vertiente de aplicación de biodiésel como biocombustible para el sector transporte. Adicionalmente, es preciso indicar que para los fines de este mapa de ruta no se hace una distinción entre los conceptos identificados en la literatura técnica como diésel renovable o diésel verde; consecuentemente, a lo largo del documento se utiliza el término biodiésel para hacer referencia al combustible obtenido a partir de material de origen vegetal cuyas propiedades fisicoquímicas son similares al diésel fósil.

Propósito del mapa de ruta

El propósito general del MRT de biodiésel es identificar los retos técnicos y barreras que enfrenta el país para ampliar la capacidad instalada de producción de biodiésel hacia el año 2030. Para cada una de los retos y barreras identificadas, se sugieren una serie de acciones a realizar. En específico, se busca que el mapa de ruta sirva de base para indicar las acciones que permitan fortalecer, incrementar y/o generar infraestructura, recursos humanos, regulaciones, servicios, alianzas, desarrollo de tecnología, entre otros, que den soporte al desarrollo sostenible de la industria del biodiésel en México. Adicionalmente se busca que los resultados sean un marco de referencia para fortalecer el enfoque y alcance de los proyectos del Clúster Biocombustibles Avanzados del CEMIE-Bio.

En este mapa de ruta se plantea una visión al 2030 en la que la capacidad instalada para la producción de biodiésel en México se incrementa a 900

millones de litros anuales. Esta visión se estableció a partir de una serie de talleres realizados en octubre de 2016 en los que participaron especialistas técnicos de la industria y de la comunidad de investigación y desarrollo, así como representantes de entidades gubernamentales relacionadas con la producción de biodiésel.

Para orientar la generación de la visión de este mapa de ruta, se consultaron diversos documentos oficiales publicados por la Secretaría de Energía y la Agencia Internacional de Energía, entre los que se encuentran las Prospectivas de Energías Renovables 2015-2029 (SENER, 2015a) Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2015-2029 (SENER, 2015b) y el Mapa de Ruta Tecnológico de biocombustibles para transporte publicado por la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2011). Adicionalmente, se consultaron documentos de carácter técnico para establecer un panorama general de los avances más recientes en las tecnologías clave para la obtención de biodiésel.

El mapa de ruta propone una serie de acciones estratégicas y habilitadoras que se consideran prioritarias para favorecer la incorporación oportuna de las capacidades tecnológicas necesarias para alcanzar la visión al 2030. Para cada acción se indican actividades específicas a realizar, así como los actores involucrados y plazos estimados para su ejecución. Cabe mencionar que las acciones, actividades, actores y plazos propuestos no representan un programa de trabajo, sino una perspectiva global de las implicaciones y requerimientos para impulsar el aprovechamiento de residuos y biomasa en la producción de biodiésel en México.

Es preciso mencionar que los resultados que se presentan en este documento, corresponden a las condiciones técnicas, políticas, económicas, legales y sociales, prevalecientes en el contexto nacional al momento en que se desarrollaron los talleres. Por lo anterior, la vigencia, prioridad, actores y/o plazos indicados podrían modificarse en la medida en la que existan cambios significativos en el entorno en alguno de los ámbitos señalados. Por ejemplo, la liberación del mercado de combustibles está generando condiciones favorables para el crecimiento de la demanda de biodiésel debido al incremento en el precio del diésel.

Estructura y contenido del reporte

Este documento está conformado por seis capítulos. En el primero de ellos se describe la metodología empleada para la generación del MRT; posteriormente en el segundo, se presenta un panorama general del estado de la industria de biodiésel en México. En los siguientes tres capítulos se describen los resultados del mapa de ruta, incluyendo la visión al 2030, acciones estratégicas propuestas para implementarla y las acciones habilitadoras que se consideran prioritarias para fortalecer la industria de biodiésel. Finalmente, los dos últimos capítulos, se enfocan en describir la estructura y contenido del MRT, así como las conclusiones y acciones siguientes respectivamente.

Metodología general para la integración del mapa de ruta

El Mapa de Ruta Tecnológica es una herramienta de soporte en los procesos de planeación estratégica. Diversas organizaciones alrededor del mundo utilizan esta herramienta para orientar la definición de sus programas de desarrollo tecnológico y proyectos de generación de nuevos productos. Mediante esta herramienta se busca señalar y comunicar al interior de la organización las acciones clave a ejecutar y los recursos necesarios para lograr sus objetivos en el largo plazo.

Los mapas de ruta contribuyen con los procesos de planeación estratégica en dos sentidos. Por una parte, promueve una visión compartida entre los diferentes actores dentro de la organización que están involucrados en el cumplimiento de sus objetivos de largo plazo. Por otra parte, se obtiene una representación gráfica de la serie de acciones que se deben llevar a cabo en el corto y mediano plazo para alcanzar dichos objetivos. En el caso particular de los mapas de ruta tecnológicos, las acciones se focalizan en adquirir y fortalecer las capacidades tecnológicas de una organización.

Existen diferentes métodos para construir mapas de ruta tecnológica. Los métodos varían en aspectos como la forma de caracterizar el estado y las tendencias de la industria. Los procesos de identificación de los actores clave y las técnicas empleadas para generar consensos varían de un método a otro. En términos generales, la construcción de mapas de ruta se puede realizar a partir de alguno de los siguientes métodos (Australian Government - DITR, 2001):

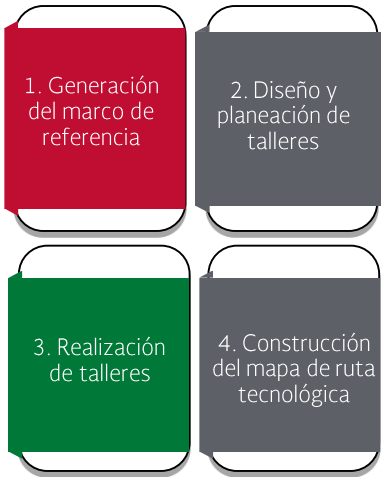
1. Método basado en la experiencia de expertos.
2. Método de talleres basados en discusiones dirigidas.
3. Método basado en trabajo de escritorio.

En el caso del MRT de biodiésel, su construcción siguió el método de talleres basados en discusiones dirigidas. La realización del mapa bajo este método, implica toda una serie de actividades que van desde el análisis de la situación actual en la producción de biodiésel, hasta la generación del reporte que describe con mayor nivel de detalle las acciones clave para alcanzar la visión establecida al 2030.

La metodología empleada para la generación de este mapa de ruta, combina las prácticas propuestas por la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2014) y la Universidad de Cambridge (Phaal, 2001), con la experiencia adquirida por el Instituto Mexicano del Petróleo en la generación de mapas de ruta en el contexto del sector hidrocarburos (IMP, 2017; 2011).

La construcción del mapa de ruta tecnológica se realizó a través de un proceso de cuatro etapas (Figura 1).

FIGURA 1. ETAPAS GENERALES PARA LA INTEGRACIÓN DEL MAPA DE RUTA DE BIODIÉSEL



1. Generación del marco de referencia

La primera etapa involucró la generación de la información que sirvió de referencia para diseñar el mapa. En esta etapa se realizó una caracterización general de la estructura de la industria así como de las tecnologías clave para la producción de biodiésel. En esta etapa se generaron dos reportes que fueron posteriormente insumo fundamental en la definición del enfoque y estructura del mapa de ruta. El primero corresponde al Reporte de Inteligencia Tecnológica en Biodiésel (SENER-IMP, 2016a) en el que se documentan los retos técnicos y el estado general del desarrollo de las tecnologías clave para su producción; el segundo, corresponde al Diagnóstico de la Gestión de la

Innovación del Clúster Biodiésel Avanzado del CEMIE Bio (SENER-IMP, 2016b), el cual se realizó con el fin de conocer sus líneas de investigación y desarrollo tecnológico, productos y tecnologías por generar, así como las acciones que lleva a cabo para transferir sus resultados a la industria.

2. Diseño y planeación de talleres

En la segunda etapa, se definió el enfoque particular del mapa de ruta tecnológica, participantes y la estructura de los talleres. A lo largo de esta etapa se realizaron entrevistas con diversos especialistas a fin de tener una mejor comprensión de la industria y mayores elementos para diseñar los talleres. Además se formó un Grupo Consultivo cuyas funciones en esta etapa fueron aprobar el diseño, alcances, y lista de invitados a los talleres.

El enfoque y estructura del mapa se estableció a partir del nivel del desarrollo de la industria en México. En esta etapa se identificaron, seleccionaron e invitaron especialistas de diversas instituciones a participar en los talleres. Los invitados fueron seleccionados por su conocimiento y experiencia en los temas a discutir en los talleres.

3. Realización de talleres

Los talleres se efectuaron durante el mes de octubre de 2016 en las instalaciones del Instituto Mexicano del Petróleo en la Ciudad de México. En los talleres se contó con la participación de especialistas representantes de la Comunidad de investigación, desarrollo tecnológico e innovación[1], industria y órganos reguladores. Las instituciones representadas en los talleres se indican a continuación:

• *Clúster Biodiésel Avanzado*	• *Secretaría de Energía (SENER)*
- *Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ)*	• *Comisión Reguladora de Energía (CRE)*
- *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)*	• *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)*
- *Universidad Autonoma de Yucatán (UADY)*	• *SOLBEN*
- *Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY)*	• *GREEN FUEL*
- *Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ)*	• *BIOCOMM*
• *Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)*	• *Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones (ANPACT)*
• *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)*	

Durante los talleres, los participantes compartieron sus perspectivas actuales y futuras del desarrollo del sector, comentarios en relación a la capacidad instalada, retos y barreras que limitan el crecimiento y la adopción de nuevas tecnologías; además de proponer una serie de acciones para atender los retos y barreras identificadas.

[1] La Comunidad de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación, está integrada por las Instituciones de Educación Superior y los Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico tanto Públicos como Privados, incluyendo a los CEMIEs.

4. Construcción del mapa

La información colectada durante los talleres fue documenta para generar la versión preliminar del reporte de mapa de ruta. Los participantes recibieron un borrador en el que se indicó la visión al 2030, principales retos y barreras identificadas, acciones propuestas, actividades, plazos de atención y diagrama preliminar del mapa de ruta; lo anterior, para su revisión y retroalimentación. Los comentarios recibidos se integraron en el documento final del mapa de ruta tecnológica, el cual fue presentado al Grupo Consultivo para su aprobación.

Una vez finalizado el reporte del mapa de ruta, se realizó un análisis del mismo para especificar las necesidades tecnológicas derivadas de las problemáticas asociadas a los retos y acciones propuestas. En general, las necesidades tecnológicas identificadas se refieren a carencias o deficiencias de capacidades tecnológicas específicas o de alguno de sus componentes, es decir conocimiento, talento, infraestructura, procesos o metodologías de trabajo y herramientas.

Las necesidades identificadas se documentaron en un reporte titulado Cartera de Necesidades de Innovación y Desarrollo Tecnológico. El objetivo de este documento es ofrecer información base para generar iniciativas de proyectos específicos (SENER-IMP, 2017).

Fuentes de información consultadas

Las fuentes de información consultadas incluyen documentos oficiales publicados por SENER, publicaciones técnicas y científicas, entrevistas con expertos técnicos y representantes de los sectores industria y gobierno; así como información recopilada directamente de los especialistas que participaron en los talleres. Dentro de los principales documentos oficiales consultados se encuentran: la Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029 (SENER, 2015a), Reporte de Avance de Energías Limpias al Primer Semestre de 2016 (SENER, 2016), la Prospectiva de crudo y petrolíferos 2015-2029 (SENER, 2015b) y el Diagnóstico de la situación actual del biodiesel en México y escenarios para su aprovechamiento (ECOFYS, 2016).

Actores involucrados en la elaboración del mapa de ruta

La generación del mapa de ruta involucró la participación de tres grupos de personas: grupo consultivo, equipo facilitador y especialistas. El grupo consultivo estuvo conformado por Directivos de SENER, CRE, INECC, SAGARPA y Clúster BDA. Este grupo fue responsable de aprobar el enfoque y alcance del mapa, participantes, y la difusión de los resultados obtenidos. El equipo facilitador por su parte, estuvo conformado por especialistas del Instituto Mexicano del Petróleo. Este grupo fue responsable de conducir el desarrollo del mapa, desde su conceptualización hasta la generación del reporte. Finalmente, el grupo de especialistas, integrado por los asistentes a los talleres y otros especialistas técnicos entrevistados, aportaron sus perspectivas, opiniones, así como comentarios al reporte de resultados del taller.

Alcances y limitaciones

El mapa de ruta tecnológica presenta una serie de acciones estratégicas y habilitadoras que se consideran prioritarias para fortalecer el desarrollo de las capacidades tecnológicas necesarias para alcanzar la visión al 2030 en la producción de biodiésel; asimismo, se establecen un conjunto de actividades específicas propuestas, actores y plazos estimados para su realización. Es importante mencionar que estas acciones, actividades, actores y plazos no corresponden a un programa de trabajo normativo, sino a una perspectiva global de los requerimientos prioritarios para impulsar el fortalecimiento de la industria de biodiésel en México. Durante los talleres se identificó un amplio número de retos tecnológicos y barreras; sin embargo, sólo se analizaron con detalle aquellos que los participantes consideraron de mayor prioridad para alcanzar la visión generada al 2030.

El mapa de ruta resultante es influenciado por las condiciones técnicas, políticas, económicas, legales y sociales prevalecientes en el contexto nacional al momento en que se desarrollaron los talleres. Debido al dinamismo de la industria de biodiésel, algunos aspectos contextuales podrían cambiar en el corto plazo y modificar la velocidad de crecimiento del sector y/o asimilación de nuevas tecnologías y, en consecuencia, alterar la prioridad de las acciones sugeridas, o bien, indicar la necesidad de considerar nuevas líneas de acción.

Por lo anterior, la vigencia, prioridad, actores y/o plazos indicados podrían modificarse en la medida en la que existan cambios en el entorno en alguno de los ámbitos señalados.

Finalmente, es preciso mencionar que la participación de los distintos actores, en las acciones sugeridas en este documento, es de carácter indicativo. La finalidad del documento es ofrecer un marco de referencia para orientar la definición de políticas públicas, programas e iniciativas, enfocados en fortalecer, incrementar y/o generar las capacidades tecnológicas necesarias para dar soporte al desarrollo sustentable de la industria en el mediano y largo plazo, incluyendo infraestructura, recursos humanos especializados, y servicios tecnológicos, entre otros.

Generalidades de la industria del biodiésel en México

Generalidades del biodiésel

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) define al biodiésel como un combustible compuesto de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivado de aceites vegetales o grasas animales (ASTM International, 2015).

En México, la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos específica explícitamente el proceso de producción del biodiésel al definirlo como *"combustible que se obtiene por la transesterificación de aceites de origen animal o vegetal"* (DOF, 2008).

Aunque la especificación ASTM D6551 no indica el proceso de producción en su definición de biodiésel, señala que comúnmente se produce por una reacción de aceites vegetales o grasas animales con un alcohol en presencia de un catalizador para producir ésteres monoalquílicos y glicerina (ASTM International, 2015).

De cualquier manera, ambas definiciones coinciden en el tipo de materia prima para producir biodiésel y en cierta medida con su proceso de producción. Por lo tanto, en el desarrollo del mapa de ruta se consideran los aspectos relacionados con el biocombustible referido por estas definiciones. Adicionalmente, considerando que el prefijo "*bio*" implica una naturaleza biológica y renovable y "*diésel*" refiere al combustible usado por ese tipo de motores, el mapa de ruta incluye los combustibles producidos a partir de material biológico con características fisicoquímicas equivalentes al diésel fósil y que se pueden emplear en vehículos de motores diésel sin necesidad de ser modificados (Stoytcheva & Montero, 2011).

El diésel se puede obtener a partir de procesos distintos a la transesterificación y factiblemente de materias primas alternativas a los aceites vegetales y grasas animales. El combustible obtenido por procesos y materias primas alternativas, generalmente es conocido como biodiésel avanzado (NREL, 2006). No obstante, aún persiste la falta de un consenso general respecto a la clasificación del biodiésel como avanzado o convencional (Sandoval, 2010). En este mapa de ruta se consideran las siguientes características para cada categoría:

- ***Biodiésel convencional.*** El biodiésel convencional es un combustible renovable y limpio derivado de aceites vegetales o grasas animales, químicamente constituido por una mezcla de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga (Cheng & Timilsina, 2011). El término convencional se refiere al tipo de biomasa empleado para su obtención: fuentes comestibles/alimenticias también denominadas de "primera generación".

- ***Biodiésel avanzado.*** El biodiésel avanzado es un combustible renovable, limpio compuesto por una mezcla de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga o pudiendo ser similar al diésel convencional en términos de estructura química y contenido energético. El término avanzado alude a la tecnología y/o al tipo de biomasa usada en su producción: fuentes no comestibles/no alimenticias desarrolladas sustentablemente, aceites /grasas residuales, residuos agrícolas, residuos municipales e inclusive aceites derivados de micro-organismos (ADVANCED BIOFUELS USA, 2012).

Especificaciones

Las propiedades del biodiésel dependen en gran medida del tipo de materia prima usado para su producción (Zhang *et al.*, 2016). Por lo tanto, las especificaciones para su uso como combustible, son necesarias para confinar las propiedades en un intervalo aceptable, controlar su calidad y asegurar un desempeño como combustible.

Dentro de las especificaciones existentes para el biodiésel destacan las de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y las del Comité Europeo de Normalización (CEN). Particularmente, la ASTM D6751 y la UNE EN14214 especifican la calidad del biodiésel puro mientras que la ASTM D7467 y EN 590 especifican las mezclas de biodiésel. Las propiedades que se indican en estas especificaciones incluyen el poder calorífico, número de cetano, densidad, viscosidad, contenido de ceniza, corrosión al cobre, contenido de agua, azufre, glicerina, entre otras (ASTM International, 2015; CEN, 2014).

En general, los principales parámetros que afectan el proceso de transesterificación y que deben optimizarse para lograr un biodiésel que cumpla las especificaciones de calidad son los siguientes (Atabani, et al., 2012):

- Ácidos grasos libres, humedad y contenido de agua
- Tipo de alcohol y proporción empleada
- Tipo y concentración de catalizador
- Tiempo y temperatura de reacción
- Razón, modo de agitación e intensidad de mezclado
- Proceso de purificación del producto final

La calidad del biodiésel es determinante para generar confianza en los consumidores y consecuentemente en la comercialización exitosa del producto.

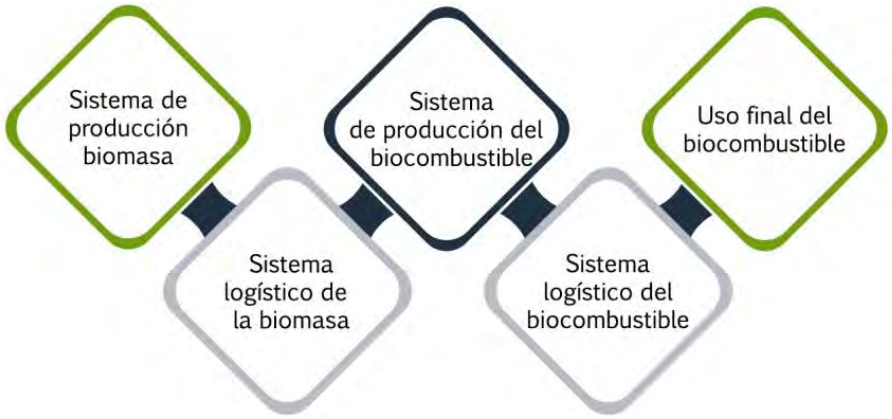
Cadena de valor de la producción de biodiésel

Las etapas clave de la cadena de valor en la producción de biodiésel son los siguientes:

1. Sistema de producción de biomasa,
2. Sistema logístico de biomasa,
3. Sistema de producción del biocombustible,
4. Sistema de distribución del biocombustible y
5. Uso final del biocombustible (Dajun *et al.*, 2014).

La Figura 2 presenta los cinco componentes de la cadena de valor. A diferencia de las actividades de producción y comercialización del diésel fósil, la producción de biodiésel implica estrategias diferentes en su producción, transporte y almacenaje particularmente debido a la diferencia en las características de los insumos y productos.

FIGURA 2. COMPONENTES CLAVE DE LA CADENA DE VALOR DE LOS BIOCOMBUSTIBLES



La cadena de valor anterior se puede resumir para el biodiésel al igual que para cualquier otro biocombustible en tres etapas: producción y acopio de materia prima, transformación y mercado (Ver Figura 3).

FIGURA 3. CADENA DE VALOR SIMPLIFICADA DE LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES

Considerando lo anterior, en la siguiente sección se analiza de manera general cada uno de los eslabones de la cadena de valor del biodiésel. Se incluyen los insumos, procesos, ventajas, desventajas y tecnologías relacionadas con la producción de biodiésel.

Materias primas

Las principales materias primas para la producción de biodiésel convencional mediante la transesterificación son los aceites comestibles y el metanol. Mientras que los insumos del biodiésel avanzado incluye los aceites de cultivos oleaginosos, aceites/grasas residuales y materiales lignocelulósicos denominados fuentes de segunda generación así como los aceites derivados de microorganismos que se consideran insumos de tercera generación (Sandoval, 2010).

A continuación se describen brevemente cada uno de los insumos. El tipo de insumo es relevante porque influye en las propiedades del biodiésel obtenido (Zhang *et al.*, 2016).

- ***Aceites de cultivos alimenticios***

Los aceites comestibles como el de soya, palma, canola, girasol, cártamo, coco y cacahuate se consideran insumos de primera generación por ser los primeros cultivos empleados en la producción del biodiésel (Atabani, et al., 2012). Actualmente, la mayor cantidad del biodiésel se produce mediante aceites comestibles como el de soya (Estados Unidos), canola (Europa) y palma (Malasia) (Stoytcheva & Montero, 2011).

Las ventajas de los aceites comestibles son su composición pura (reduce su pretratamiento), su disponibilidad a gran escala, su comercialización internacional y posibilidad de ser importados (Balat, 2011). Las desventajas incluyen su competencia con la producción de alimentos y las controversias en relación a la posible deforestación y cambios de uso de suelo relacionados con el incremento en la producción de aceite vegetal (IEA, 2008). La Tabla 1 muestra un resumen de las ventajas y desventajas del uso de aceites de cultivos alimenticios como materia prima.

- ***Aceites de cultivos oleaginosos***

Los aceites de cultivos oleaginosos representan una solución para disminuir el uso de aceites comestibles en la producción de biodiésel. Se consideran insumos sostenibles siempre y cuando se cultiven en páramos no aptos para cultivos alimenticios, eliminen la competencia por alimentos, reduzcan la deforestación, sean más eficientes, ambientalmente amigables y más económicos que los aceites comestibles (Tabatabaei *et al.*, 2015).

Aunque existen varios cultivos oleaginosos para producir biodiésel (Atabani, et al., 2012), algunos destacados son la jatropha (*Jatropha curcas*), la higuerilla (*Ricinus communis*) y la camelina (*Camelina sativa*; Tabatabaei *et al.*, 2015).

TABLA 1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ACEITES DE CULTIVOS ALIMENTICIOS COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE BIODIÉSEL

Ventajas	Desventajas
• La composición es pura y reduce el pretratamiento. • Disponible fácilmente a gran escala. • El uso de biodiésel derivado de canola o palma puede reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero. • Algunos aceites (palma) se comercializan internacionalmente y pueden ser importados.	• Compiten con la producción alimenticia. • Alrededor del 80% del costo total del biodiésel de aceite de palma corresponde a la materia prima. • La producción de más aceite vegetal causa preocupaciones por la deforestación y cambios de uso de suelo. • La posibilidad de reducir aún más los costos es limitada. • Algunos aceites (soya y canola) tienen un precio altamente fluctuante.

Fuente: (Balat, 2011; IEA, 2008; Stoytcheva & Montero, 2011)

La jatropha es una planta perenne que se puede cosechar casi continuamente (30-50 años), resiste a sequías, crece rápido y se adapta a varias condiciones climáticas (SAGARPA-SENASICA, 2012) mientras que la higuerilla es una planta tropical que tolera suelos variables y reduce la erosión del mismo (Balat, 2011; SAGARPA-INIFAP, 2011). En general, se señala que ambos cultivos crecen con poca irrigación en suelos marginales de cualquier tipo, aunque también se ha encontrado que para producir altos rendimientos se requiere abastecer adecuadamente de agua y nutrientes (IEA, 2008).

La Tabla 2 muestra un resumen de las ventajas y desventajas del uso de aceites de cultivos oleaginosos como materia prima.

TABLA 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ACEITES DE CULTIVOS OLEAGINOSOS COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE BIODIÉSEL

Ventajas	Desventajas
• No todos los cultivos compiten con la producción de alimentos y las plantas tienen múltiples usos. • Crecen en tierras marginales o semi-áridas. • Crea nuevos mercados para productos agrícolas y empleo sostenido para agricultores. • Investigación extensa en producción de biodiésel con esta materia prima.	• Requerimientos de abastecimiento adecuado de agua y nutrientes. • Los rendimientos por hectárea son generalmente bajos. • Se carece de información precisa de costos de producción de biodiésel pues aún no se comercializan en mercado abierto (2011).
Jatropha: • Planta perenne que puede cosecharse casi continuamente: 30-50 años. • Crece con poca irrigación en suelos marginales de cualquier tipo. • Resiste a sequías, crece rápido, se adapta a varias condiciones agroclimáticas.	**Jatropha:** • Biodiésel no apto para climas fríos (alto punto de enturbiamiento). • Bajo número de semillas por planta. • Producción global despreciable: 25-30 MHa, en su mayoría tóxica (2008).

Fuente: elaboración propia a partir de Tabatabaei *et al.*, 2015; SAGARPA-SENASICA, 2012; Bart *et al.*, 2011; Balat, 2011; SAGARPA-INIFAP, 2011 y IEA, 2008.

- ***Aceites/grasas residuales***

Las grasas animales como cebo de res, grasa de aves, manteca de cerdo, grasas y aceites residuales de cocina se consideran insumos de segunda generación. En particular, los aceites y grasas residuales son una alternativa para producir biodiésel al ser una materia prima barata y eliminar la necesidad de disponer estos residuos (Tabatabaei *et al.*, 2015).

El aceite de cocina usado, por ejemplo, presenta las siguientes ventajas: es de 2.5 a 3.5 veces más barato que los aceites puros, su disponibilidad no se afecta por políticas de uso de suelo, se producen grandes cantidades en las cocinas de todo el mundo y su pretratamiento solo requiere deshidratación y filtrado por lo que su conversión convencional es ideal para instalaciones pequeñas ubicadas en centros urbanos (Bart *et al.*,2011). Sin embargo, la utilización de aceites residuales puede presentar problemas técnicos y de logística de recolección, control y trazabilidad. También este insumo puede requerir varios procesos para su acondicionamiento cuando tiene altos contenidos de material insaponificable, agua y ácidos grasos libres. Debido a lo anterior los costos de producción de biodiésel de aceite residual pueden ser elevados (Martínez Valencia *et al.*, 2011).

La Tabla 3 muestra un resumen de las ventajas y desventajas del uso de aceites y grasas residuales como materia prima.

- ***Materiales lignocelulósicos***

Un insumo alternativo para producir biodiésel avanzado es la biomasa residual que comprende materiales lignocelulósicos como pastos, residuos agroindustriales, residuos forestales y madereros (Cheng & Timilsina, 2011). En general, los materiales lignocelulósicos están más orientados a la producción de biocombustibles sólidos o bioetanol, pero también pueden ser insumo para producir biodiésel (Yousuf, 2012).

TABLA 3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ACEITES Y GRASAS RESIDUALES COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE BIODIÉSEL

Ventajas	Desventajas
• Comúnmente se producen grandes cantidades de aceites vegetales residuales en las cocinas de todo el mundo. • Su disponibilidad no se afecta por políticas de uso de suelo. • Se puede importar (p. ej. el caso de Estados Unidos que lo ha enviado a Holanda). • Al no ser *commodity*, son más baratos que los aceites puros. El aceite de cocina usado es 2.5-3.5 veces más barato. • Los costos de producción se pueden reducir hasta en 45%, aun con pretratamiento. • Su uso para producir biodiésel contribuye a una mejor disposición de este residuo y reduce la contaminación ambiental. • Su conversión es ideal en instalaciones pequeñas ubicadas en centros urbanos. • Usa una producción convencional, requiriendo solo desagüe y filtrado (aceite usado).	• Constituye una mezcla heterogénea que requiere un proceso de producción robusto que tolere amplio intervalo de propiedades de la materia prima. • Requiere pretratamiento para asegurar la calidad del biodiésel, incrementando la complejidad y costos de producción, algunos requieren filtrado, blanqueado, destilación al vacío. • Tiene un abastecimiento limitado, se dispone principalmente en áreas urbanas. • Varios parámetros influyen su conversión a biodiésel: calentamiento, contenido de ácidos grasos libres y agua. • La producción de biodiésel puede ser difícil por la presencia de contaminantes. • Requiere infraestructura de reciclaje que involucra ciudadanos, industrias y gobiernos locales. • Procesar grasa café tiene mayor costo y menor rendimiento que la amarilla.

Fuente: elaboración propia a partir de Bart *et al.*, 2010; Tabatabaei *et al.*, 2015; Martínez Valencia *et al.*, 2011 y IEA, 2008.

Existen, tecnologías distintas a la transesterificación que son flexibles y capaces de usar insumos distintos a las grasas y aceites para producir "biodiésel". A pesar de no ser exactamente una mezcla de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos (biodiésel), el diésel producido por estas tecnologías es una mezcla de hidrocarburos químicamente equivalente al diésel fósil (Bart *et al.*, 2010; Rapier, 2014).

La ventaja del material lignocelulósico es que es un recurso renovable y relativamente abundante cuyo abastecimiento se puede suplementar con pastos y cultivos forestales de rotación corta. Sin embargo, las desventajas principales se relacionan con los altos costos y estado de desarrollo de las tecnologías de procesamiento disponibles (IEA, 2008). La Tabla 4 muestra algunas de las ventajas y desventajas del material lignocelulósico como materia prima para la elaboración de biodiésel.

TABLA 4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MATERIAL LIGNOCELULÓSICO COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE BIODIÉSEL

Ventajas	Desventajas
• Recurso abundante y renovable. • No presenta requerimientos de suelo ni impacta la producción de cultivos fibrosos. • La mayoría son fáciles de almacenar al no requerir secado o enfriamiento. • El producto de las tecnologías distintas a la transesterificación es químicamente equivalente al diésel convencional.	• El abastecimiento puede ser limitado y requerir suplementarse con pastos y cultivos forestales de rotación corta. • Las rutas de procesamiento bioquímica y termoquímica aún no se prueban completamente a escala comercial. • Inexistencia de proceso de gasificación a escala comercial para producir el gas requerido para sintetizar biodiésel.

Fuente: elaboración propia a aprtir de IEA, 2008; Yousuf, 2012; Cheng & Timilsina, 2011; Bart *et al.*, 2010 y Rapier, 2014

- ***Aceites microbianos***

Actualmente existen numerosas investigaciones para obtener biodiésel mediante la transesterificación de aceites de microorganismos (Atabani, et al., 2012; Tabatabaei *et al.*, 2015); sin embargo, esta fuente de aceite aún presenta altos costos de producción. Por ello, los esfuerzos se orientan a seleccionar las mejores cepas y establecer estrategias de cultivos robustas y estables comercialmente, administrando sustentablemente el uso de tierra, agua y nutrientes para obtener la máxima productividad de biomasa y lípidos con microalgas (European Biofuels Technology Platform, 2010; Loera-Quezada & Olguín, 2010; US DOE, 2010).

Las microalgas son organismos fotosintéticos que convierten la luz del sol, agua y dióxido de carbono en biomasa y representan el insumo de tercera generación para producir biodiésel. Dada su eficiencia fotosintética para producir biomasa, su tasa de crecimiento y contenido de aceite, se consideran como el único insumo capaz de cumplir la demanda de combustibles y desarrollarse sustentablemente en el futuro (Atabani *et al.*, 2012; Tabatabaei *et al.*, 2015). La Tabla 5 muestra las ventajas y desventajas de aceites microbianos como materia prima para la elaboración de biodiésel.

TABLA 5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ACEITES MICROBIANOS COMO MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE BIODIÉSEL

Ventajas	*Desventajas*
• Posee tasas de crecimiento rápidas, ciertas especies se pueden cosechar diario. • No compite directamente con la producción de alimentos. • Produce 40-400 veces más aceite por hectárea comparado con cultivos tradicionales. • Ambientalmente amigables al ser producibles en tierra no arable, usar diversas fuentes acuíferas (fresca, residual y salina) y reciclar CO_2. • Crecen 20-30 veces más rápido que los cultivos alimenticios. • Posee alto contenido de lípidos y azúcares por lo que son materia prima para diversos biocombustibles. • El biocombustible es biodegradable, sin azufre y no tóxico.	• El cultivo de algas y la extracción del aceite son costosos. • Como cualquier planta, requieren grandes cantidades de agua, fertilizantes y energía fósil. • Se requiere contar con sitios con suficiente luz solar y agua. • Se produce un biodiésel inestable con muchos poliinsaturados. • La tecnología es relativamente nueva. • El biodiésel derivado de aceite de algas tiene un menor desempeño que el convencional.

Fuente: elaboración propia a partir de Atabani et al., 2012; Tabatabaei *et al.*, 2015; European Biofuels Technology Platform, 2010; Loera-Quezada & Olguín, 2010 y US Department of Energy, 2010.

Estado de los recursos de biomasa para producir biodiésel en México

La materia prima con mayor potencial de uso en México para la producción de biodiésel en el corto plazo es el aceite de cocina usado, esto debido a su bajo costo y disponibilidad potencial. El costo del biodiésel generado a partir de esta materia prima se estima entre $11.12 a $13.70 pesos por litro; no obstante, actualmente la tasa de recolección y procesamiento de este material para su uso como insumo en la producción de biodiésel, es incipiente puesto que existen un número reducido de empresas dedicadas a la recolección de este material (ECOFYS, 2016). De acuerdo con estimaciones de ECOFYS, el potencial de recuperación de aceite usado es amplio. En ciudades de más de 100 mil habitantes, se estima que se podrían recuperar volúmenes en el rango de 120 a 360 millones de litros anuales. No obstante, el volumen no es suficiente para que sea considerada como materia prima única para la producción de biodiésel.

Las grasas animales son otra fuente técnicamente viable para la producción de biodiésel pero su costo es más elevado. Se estima que el precio de producción de biodiésel a partir de esta materia prima está en el rango de $14 a $26 pesos por litro.

La producción actual de aceites provenientes de cultivos alimenticios no presenta inventarios excedentes que puedan ser utilizados para la producción de biodiésel; por el contrario, México es un país deficitario en la producción interna de aceites de origen vegetal para consumo humano. La producción interna apenas alcanza para satisfacer 10% de la demanda.

La disponibilidad de aceites provenientes de cultivos oleaginosos es reducida. El abandonamiento de cultivos como la jatropha ha tenido como resultado una reducción en la disponibilidad de aceite proveniente de esta fuente. Existe potencial en diferentes regiones del país para cultivar variedades como la jatropha e higuerilla; no obstante, los sitios en los que se podrían tener los mayores rendimientos, y por tanto menores costos, generalmente se ubican en zonas en las que se tienen cultivos de variedades vegetales para consumo humano o son utilizados para la crianza de animales.

Existe un amplio potencial de utilizar material lignocelulósico para la producción de biocombustibles. En México se cuentan con abundantes recursos de este tipo, como son recursos agrícolas o co-productos agroindustriales y forestales. Algunas estimaciones señalan que el país dispone de más de 100 millones de toneladas por año de este tipo de recursos. Sin embargo, su uso aún no es atractivo para la industria, pues para aprovechar estos recursos se requiere tecnologías que no han alcanzado un nivel de madurez que permitan su aplicación en gran escala.

Finalmente, se visualiza que los aceites provenientes de microorganismos podrían ser una fuente alternativa para la producción de biodiésel. Actualmente se dispone solamente de pruebas a pequeña escala que indican el potencial de este recurso para la producción de biodiésel. Particularmente se han realizado pruebas que indican que los lípidos provenientes de levaduras ofrecen un alto potencial para producir la materia prima necesaria para producir biodiésel en grandes volúmenes; sin embargo, no se cuenta aún con procesos a gran escala que permitan determinar con precisión su viabilidad técnica y económica. En la Tabla 6 se muestra un resumen general del estado que guardan las materias primas para la producción de biodiésel en el país.

Capacidades actuales de producción de biodiésel en México

La industria de biodiésel existe en México desde hace más de una década; sin embargo, su cadena de valor no está totalmente articulada. Los productores del biocombustible operan en regiones aisladas y generan volúmenes muy bajos en comparación con la demanda nacional de diésel. Pese a que las primeras plantas productoras de volúmenes comerciales iniciaron operaciones hace poco más de 10 años, la industria no ha crecido al ritmo esperado. Lo anterior se debe en gran medida a la ausencia de mandatos que establezcan objetivos de producción de biodiésel o de obligación de mezclado con diésel fósil.

La participación de biodiésel en el mercado de combustibles en México ha sido incipiente. Desde el año 2004, cuando se puso en operación la primera planta con tamaño comercial, se han realizado inversiones significativas para producir diésel a partir de aceites de origen vegetal y grasas animales, particularmente por parte de organizaciones empresariales como son Grupo Energéticos, Bioenermex y Chiapas Bioenergético.

TABLA 6. ESTADO ACTUAL Y POTENCIAL DE MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

Materia prima	*Estado actual*	*Emisiones*
Aceite de cultivos alimenticios	La producción en México apenas satisface la demanda interna, pues se importa alrededor del 90% de semillas y aceites.	5.3 MHa (palma, coco, soya, canola). Principales áreas: Veracruz, Tamaulipas, Yucatán, Tabasco y Chiapas.
Aceite de cultivos oleaginosos	El SIAP reportó 1014 Ha en 2013, 50 Ha en 2014 cuando se abandonó la plantación de jatropha en Yucatán. El SIAP solo reporta 5-7 Ha de higuerilla desde el 2007 al 2011.	2.6 MHa de Jatropha (2008), 59.2Mt/año de cultivos especializados. Principales áreas: Sinaloa, Tamaulipas, Guerrero, Chiapas y Michoacán.
Aceite y grasas residuales	Existe un número reducido de empresas dedicadas a la recolección de aceite de cocina usado para su conversión a biodiésel.	120,546 - 361,369 m^3/año de aceite de cocina usado (2016).
Material lignocelulósico	En vez de biodiésel, se busca destinar los recursos a producir principalmente biogás y electricidad.	114.5 Mt/año (2013).
Aceites microbianos	Se reportan proyectos a nivel de laboratorio para producir biodiésel a partir de microalgas (p. ej. Empresa Bioamin y Departamento de Ingeniería Celular y Biocatálisis del Instituto de Biotecnología de la UNAM).	Aún no se determina.

Fuente: ECOFYS, 2016.

Se estima que la capacidad instalada de producción de biodiésel en México es de 66 millones de litros anuales[2]. Las plantas con tamaño comercial se localizan en Nuevo León, Michoacán, Chiapas, Durango, Puebla y Oaxaca. En 2004 el Grupo Bioenergéticos instaló en Monterrey la primera planta comercial de Latinoamérica, con una capacidad de diseño de 1.5 millones de litros por mes; en esta planta se produce biodiésel a partir de aceites vegetales y grasas animales. Adicionalmente, algunas Universidades han instalado plantas piloto particularmente con fines educativos.

Marco legal

El Gobierno mexicano está comprometido con promover la producción y uso de energías limpias. Derivado de ello se han establecido acciones para dirigir la transición energética nacional y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero. Para cumplir con este propósito, se ha desarrollado un marco legal que incluye políticas, leyes, reglamentos y normativas. Entre los principales ordenamientos aplicables a la producción, distribución y comercialización de biodiésel se encuentran las siguientes:

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (artículos 1,4, 24, 25, 26, 27, y 28)

- ***Sector Energía***

- Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

- Ley de Transición Energética.

- Ley de Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética.

- Ley de Petróleos Mexicanos.

- Estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios.

- Reglamento de la ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos

- Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

- ***Medioambiente***

- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

- Ley General de Cambio Climático

- ***Sector Agropecuario***

- Ley de Desarrollo Rural Sustentable.

- Ley de Energía para el Campo.

- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

- Ley Federal de Variedades Vegetales.

- ***Sector Comunicaciones y transporte***

- Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal.

- ***Administración Pública***

- Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

- Ley Federal de las Entidades Paraestatales.

- Ley Federal Sobre Metrología y Normalización.

- Ley del Impuesto sobre la Renta.

- Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

- Reglamento de la Ley Federal de las Entidades Paraestatales.

El principal ordenamiento aplicable al biodiésel es la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (DOF, 2008), la cual tiene por objeto fomentar y apoyar la producción y uso de bioenergéticos a fin de coadyuvar a la diversificación y seguridad energética y al

[2] La SENER ha autorizado permisos que suman en total un capacidad de producción de 14.6 millones de litros anuales; sin embargo, diversos documentos y representantes del sector industrial en los talleres de mapa de ruta coinciden en que al año 2016 la capacidad instalada es aproximadamente de 66 millones de litros anuales.

desarrollo sustentable apoyando al campo mexicano a través de:

- Promover la producción de insumos para bioenergéticos;
- Fomentar la producción, comercialización y uso eficiente de los bioenergéticos;
- Promover el desarrollo regional y el de las comunidades menos favorables;
- Procurar la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera; y
- Coordinar las acciones entre los Gobiernos Federal, Estatales y Municipales,
- Promover la participación de los sectores social y privado.

Capacidades de soporte para la realización de investigación y desarrollo tecnológico

Desde hace más de dos décadas diversas instituciones mexicanas han destinado recursos al desarrollo de temas relacionados con el biodiésel. Dentro de las instituciones con mayor actividad están la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, el Instituto Mexicano del Petróleo, la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, el Instituto Politécnico Nacional, el Instituto Tecnológico de Celaya, la Universidad Autónoma del Estado de México y la Universidad Autónoma de Guadalajara[3].

La Tabla 7 muestra las líneas de investigación de algunas de las instituciones activas en temas relacionados con biodiésel. La mayor parte de esas instituciones conforman hoy en día el Clúster Biodiésel Avanzado del CEMIE-Bio.

TABLA 7. INSTITUCIONES CON ACTIVIDAD DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN TEMAS RELACIONADOS CON BIODIÉSEL

Instituciones	*Líneas de investigación o actividad relevante*
• CIATEC, CIATEJ, UAG	• Pretratamientos y procesos químicos (varias etapas) o enzimáticos para su transformación a biodiésel.
• UABC, CIBNOR, CICY, UNAM, INECOL, CICESE, CINVESTAV, CIATEJ	• Aislamiento de cepas nativas y establecimiento de colecciones. Evaluación de la productividad de aceite. Desarrollo de cepas sobre productoras.
• CICESE, UADEC, CIATEJ	• Aislamiento y caracterización de cepas.
• CIATEJ	• Procesos biotecnológicos (con enzimas), en continuo y evaluación de procesos asistidos por ultrasonido y microondas.
• BUAP	• Producción de biodiésel del aceite vegetal no comestible, utilizando la radiación solar como fuente de energía.
• UAM	• Desarrollo tecnológico y diseño de planta prototipo para transformar en biodiésel las grasas y jabones residuales de la refinadora de aceite de soya.
• ITM	• Optimización de un sistema no convencional nanocatalítico para la obtención de biodiésel.

Fuente: adaptado de Sandoval, 2010.

[3] De acuerdo a la consulta realizada a la base de información "Engineering Village" sobre publicaciones en el tema de biodiésel en el periodo 2005 a 2017.

El Clúster es un consorcio en el que participan Universidades, centros públicos de investigación y empresas cuyo fin es consolidar capacidades científico-tecnológicas, formación de recursos humanos, vinculación academia-industria e impulsar el desarrollo de la industria del biodiésel en México. Sus actividades son apoyadas por la SENER a través del Fondo Sectorial CONACYT-SENER-Sustentabilidad Energética. El Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) es la entidad coordinadora del Clúster.

Las principales acciones estratégicas del Clúster abordan temas como el desarrollo de catalizadores heterogéneos y tecnologías de reactores, aseguramiento de calidad, evaluación de la sostenibilidad de combustibles e integración de paquetes tecnológicos. Las instituciones que conforman el Clúster cuentan con capacidades relevantes de infraestructura especializada para investigación y desarrollo tecnológico. La Tabla 8 presenta un resumen de la infraestructura relevante de la que dispone el clúster a través de sus miembros.

TABLA 8. INFRAESTRUCTURA RELEVANTE DE LABORATORIOS ESPECIALIZADOS DE LAS INSTITUCIONES INTEGRANTES DEL CLÚSTER BIODIÉSEL AVANZADO

Institución	*Infraestructura relevante*
• Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología del Estado de Jalisco A.C.	• Plantas piloto para fermentación. • Plantas piloto con biorreactores instrumentados. • Laboratorios de biocatálisis y biología sintética.
• Centro de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S:C.	• Laboratorio de residuos/combustibles.
• Benemérita Universidad de Puebla.	• Laboratorio de catálisis y energía.
• Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán.	• Centro de energía renovable.
• Universidad Autónoma de Yucatán.	• Laboratorios de ingeniería de procesos. • Laboratorios de simulación dinámica.

IMAGEN 1. UNIDAD DE BIOTECNOLOGÍA VEGETAL, CIATEJ CAMPUS ZAPOPAN

Fuente: CONACYT

Visión de la producción del biodiésel al 2030

El Gobierno Federal ha establecido diversas metas en materia ambiental que guardan relación con el biodiésel. Por ejemplo, uno de los compromisos adquiridos en la COP21[4] es reducir en 22 % la emisión de gases con efecto invernadero para el año 2030. Diversos estudios han señalado que la combustión del biodiésel emite significativamente una menor cantidad de CO_2 cuando se compara con su equivalente de origen fósil (Coronado *et al.*, 2009)[5]. Por otra parte, el biodiésel representa una alternativa para reducir el uso de combustibles fósiles, al sumarse a la oferta interna de combustibles, y contribuyendo de esta manera a reducir el volumen de las importaciones derivadas del déficit en la producción interna de diésel fósil.

Aunado a lo anterior, el biodiésel promovería una mayor actividad del sector agrícola. La producción industrial de biodiésel requiere de la disponibilidad de materia prima en grandes volúmenes y de manera continua; en este sentido, el sector agrícola es la fuente de materia prima que tiene la posibilidad de proveer los volúmenes requeridos de insumos para su producción.

Dentro de las razones que favorecen el uso de biodiésel en México se encuentran las siguientes:

1. Cumplir con los compromisos que ha adquirido el Gobierno Federal en el ámbito internacional en materia ambiental.

2. Disponer de un combustible alterno que permita reducir la dependencia de combustibles fósiles.

3. Promover una mayor actividad del sector agrícola.

4. Mejorar la calidad de vida y salud de los habitantes de las grandes ciudades.

Por más de una década se han desarrollado iniciativas en México para fomentar inversiones en los diferentes eslabones de la cadena de valor del mercado de biocombustibles. En particular, el biodiésel es un combustible alternativo para el sector transporte pero su presencia en el mercado aún es muy reducida.

IMAGEN 2. TRANSPORTE UNIVERSITARIO, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Fuente: CONACYT

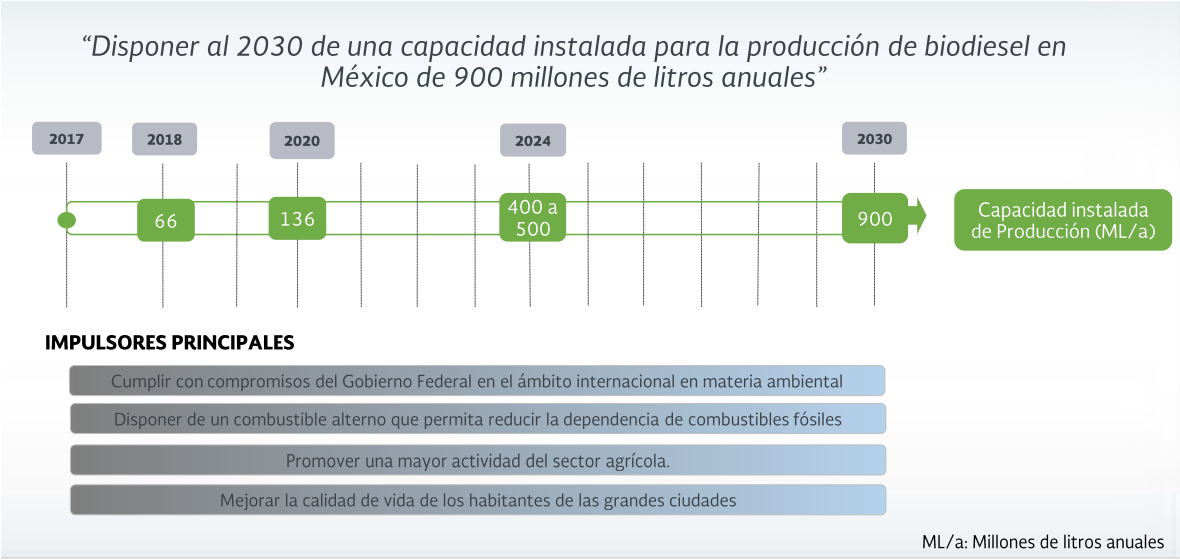
[4] Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

[5] Estudios recientes han mostrado que la contaminación ambiental proveniente de la combustión de combustibles fósiles se reduce con el uso de biocombustibles en mezclas bajas; sin embargo, también han indicado que no hay mucha contribución, e incluso pueden aumentar la contaminación (en el caso de etanol), si el combustible fósil de base no es de buena calidad. Consecuentemente, la reducción de contaminantes a partir del uso de mezclas con biocombustibles sólo se puede lograr si se mejora la calidad de los combustibles fósiles.

Actualmente hay empresas que producen y comercializan el combustible en México; sin embargo su rentabilidad como negocio depende en gran medida de la calidad, costo y disponibilidad de la materia prima a la que tienen acceso, así como del pago de impuestos al que están sujetos los consumidores.

Entre los diversos actores (gobierno, industria y comunidad de investigación y desarrollo) existe un consenso en la capacidad instalada de biodiésel que técnicamente es factible alcanzar hacia el año 2030. Para ese año, se estima que la capacidad instalada de biodiésel en México podría superar los 900 millones de litros anuales**,** volumen que representaría apenas el 2.4% de la demanda total de diésel (Ver Figura 4). Esta estimación se toma como referencia para establecer la visión del presente mapa de ruta, la cual se puede expresar de la siguiente manera: ***disponer al 2030 de una capacidad instalada para la producción de biodiésel en México de 900 millones de litros anuales***.

FIGURA 4. VISIÓN PARA EL DESARROLLO DE LA PRODUCCIÓN DEL BIODIÉSEL AL 2030



Desde la perspectiva empresarial, es factible que para el año 2020 la capacidad instalada supere los 136 millones de litros y para el año 2024 sea mayor a 400 millones, siempre y cuando se inicien acciones para el fortalecimiento de la industria a la brevedad. Los volúmenes anteriores equivalen a la construcción de una planta industrial con capacidad superior a los 70 millones de litros anuales para el año 2020; cinco a seis plantas para el 2024; y de nueve a diez plantas de capacidad similar a la mencionada para el 2030. La Tabla 9 muestra las metas que describen el escenario propuesto de la evolución de la capacidad instalada para la producción de biodiésel hacia el año 2030.

TABLA 9. ESCENARIO PROPUESTO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

Estimaciones	2018	2020	2024	2030
Volumen de Biodiésel (ML/a)	66	136	400 a 500	900
Participación de mercado (porcentaje)	0.28	0.47	1.4	2.4
Número de plantas industriales (capacidad de 70 a 100 ML/a)		1	5 a 6	9 a 10

Las materias primas que se consideran con mayor potencial de contribución a las metas establecidas en el corto plazo son las grasas y aceites alimenticios de desecho, grasas animales crudas y aceites de cultivos oleaginosos (soya, palma y canola). En el mediano y largo plazo se visualiza que se pueden sumar los aceites de jatropha, higuerilla, microorganismos y material lignocelulósico; cabe señalar que su aprovechamiento depende de tecnologías que aún no están disponibles en el ámbito comercial.

IMAGEN 3. MAQUINARIA DE MANUFACTURA MEXICANA PARA PRODUCIR BIODIÉSEL

Fuente: CONACYT

Implementación de la visión

El crecimiento de la industria de biodiésel enfrenta diversos retos y barreras, particularmente en relación al abatimiento de los costos de producción. Actualmente los márgenes de rentabilidad de la industria no son atractivos para el sector privado debido al alto porcentaje que representa la materia prima en el costo de producción, y a que el precio comercial del diésel fósil pone un techo al precio del biocombustible en el mercado.

La industria de biodiésel existe en México desde hace más de una década; sin embargo, su cadena de valor no está totalmente articulada. Los productores de biodiésel operan en regiones aisladas y generan volúmenes muy bajos comparados con la demanda nacional de diésel. Esta situación no permite generar economías de escala ni poder suficiente de tracción para incorporar a más proveedores de insumos y servicios a la industria.

Por otro lado, en el ámbito de la investigación y desarrollo tecnológico, en México se han realizado importantes esfuerzos relacionados con la producción de biodiésel, no obstante, estos, se observan como acciones aisladas y por lo tanto, no han generado conexiones solidas con el sector productivo.

Para alcanzar las metas de capacidad instalada de biodiésel hacia el año 2030, es necesario fortalecer los lazos de colaboración entre los productores del combustible y la Comunidad de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del país (CoIDT+i)[6], para generar alternativas que impacten significativamente en los costos de producción. En este proceso de fortalecimiento, es fundamental la participación de los organismos reguladores y dependencias del Gobierno Federal, quienes tendrán como tarea generar políticas públicas que promuevan el uso el biodiésel y su respectiva operación. Los retos y barreras que enfrenta la industria sólo pueden ser superados con la participación de esos tres sectores. En las siguientes secciones se describen las acciones principales que permitirán alcanzar las metas propuestas al 2030.

Lograr la visión al 2030 que se ha establecido en este mapa de ruta implica la realización de una serie de acciones estratégicas y habilitadoras; las primeras tienen un carácter primordialmente tecnológico, mientras que las segundas se enfocan en la solución de barreras relacionadas con aspectos sociales, económicos, ambientales y de regulación.

I. Acciones estratégicas: retos tecnológicos

En general, las acciones estratégicas que se plantean se encuentran primordialmente en la etapa de producción y logística de recolección de la biomasa y están direccionadas a garantizar el abasto de la materia prima y la reducción de su costo de producción. Asimismo, se establecen acciones en las etapas de producción, transporte y comercialización del biodiésel que reflejan la necesidad de reducir costos y garantizar la calidad del biocombustible.

En la Tabla 10 se presenta un resumen de los retos considerados prioritarios para alcanzar la visión establecida.

Para solucionar cada uno de los retos que se presentan, se observan tres posibles estrategias a seguir, cuya selección toma en cuenta el tiempo esperado para su atención y la disponibilidad de capacidades técnicas nacionales. En este sentido, las estrategias que se consideran son las tres siguientes:

1. Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional.
2. Desarrollo en colaboración con entidades en al ámbito internacional.
3. Implementación de soluciones o tecnologías existentes.

La primera de las estrategias indica que existen recursos y capacidades a nivel nacional para atender el reto. Mientras que la segunda, aplica en situaciones en las que algunas de las capacidades o recursos clave para la atención del reto están siendo atendidas, o podrían ser atendidas, por instituciones del ámbito internacional.

[6] CoIDT+i: Comunidad de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación. Está integrada por las Instituciones de Educación Superior y los Centros de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación tanto Públicos como Privados, incluyendo a los CEMIEs y al Clúster de Biodiésel Avanzado.

Finalmente, la tercera estrategia es aplicable en situaciones en las que se dispone de un tiempo muy corto para resolver el reto y existen soluciones o tecnologías necesarias para su atención. El detalle de las acciones estratégicas propuestas se presentan en los siguientes dos apartados. El primero señala los retos asociados con la producción y logística de recolección de biomasa y se indican una serie de acciones para su atención. El segundo, aborda de la misma manera, los retos y acciones correspondientes asociadas con la producción y comercialización del biodiésel.

TABLA 10. RETOS PRIORITARIOS PARA ALCANZAR LA VISIÓN AL 2030

Producción y logística de recolección de la biomasa
• Asegurar el abasto de materia prima para cumplir la meta de producción de biodiésel en el 2030. • Incrementar la productividad de los cultivos. • Reducir los insumos y costos de producción agrícolas. • Optimizar la logística de acopio de materia prima y residuos. • Optimizar tecnologías para incrementar el rendimiento de producción de aceite virgen. • Generar alternativas tecnológicas de pretratamiento que hagan rentable el uso de residuos (grasas y aceites gastados).
Producción y logística de comercialización de biodiésel
• Caracterizar y valorar co-productos en un esquema de biorrefinería. • Definir procedimientos y lineamientos para realizar el mezclado de biodiésel. • Crear programa de certificación de la calidad del biodiésel. • Ampliar la disponibilidad de infraestructura para la distribución del biodiésel. • Escalar tecnologías para la producción de biodiésel a nivel comercial a partir de aceites microbianos.

I.a Producción y logística de recolección de materia prima

La disponibilidad de materia prima para la producción de biodiésel es uno de los pilares clave en el crecimiento y fortalecimiento de la industria. A fin de garantizar el abastecimiento de materia prima en grandes volúmenes, es necesario atender retos relacionados con el fortalecimiento de las capacidades técnicas requeridas tanto para obtener insumos a partir de diferentes fuentes como para hacer llegar los insumos a las plantas de procesamiento al menor costo posible.

En el corto plazo es posible aprovechar materias primas como grasas animales, aceites residuales y otros aceites provenientes de cultivos oleaginosos como la canola, palma y soya entre otros[7]. Cabe señalar que estas son materias primas utilizadas comúnmente en las plantas comerciales existentes en México.

En el mediano plazo, adicionalmente a los insumos señalados con anterioridad, existen posibilidades de que los aceites provenientes de cultivos oleaginosos, como la jatropha[8] e higuerilla, y de microorganismos, así como grasas y aceites residuales capturados en trampas de grasa, se

[7] El único cultivo en México que está regulado para su procesamiento como bioenergético es el maíz. La Ley de Promoción de Bioenergéticos, que en su artículo 11 estipula que la Secretaria de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) tiene facultades para "Otorgar permisos previos para la producción de bioenergéticos a partir del grano de maíz en sus diversas modalidades, mismos que se otorgarán solamente cuando existan inventarios excedentes de producción interna de maíz para satisfacer el consumo nacional", por lo que se deberá considerar esta limitante al establecer la matriz de materias primas para la producción de biodiésel.

[8] El aprovechamiento de la Jatropha en México requiere de mayores estudios; las experiencias registradas señalan un rendimiento por debajo de lo esperado, una de las causas es la inexperiencia nacional del cultivo y manejo de la planta.

posicionen como materias primas importantes en la producción de biodiésel. Estas materias primas son compatibles con los procesos existentes en México; sin embargo, en la actualidad su precio es elevado con relación a otras materias primas y no se cuentan con los volúmenes suficientes para ser considerados como insumo en escala industrial.

De todas las materias primas posibles, los residuos lignocelulósicos son atractivos por su abundancia y bajo costo; sin embargo las tecnologías necesarias para su aprovechamiento aún no están probadas a escala comercial, es por este motivo que se considera que esta fuente de materia prima podría aprovecharse en el largo plazo, cuando las tecnologías de proceso se encuentren lo suficientemente desarrolladas.

En general, los retos que se describen a continuación se caracterizan por buscar la reducción de los costos de adquisición de la materia prima para la producción de biodiésel. En el horizonte 2017-2030 los resultados derivados de la atención de los retos buscan impulsar la generación de los volúmenes de biomasa necesarios para la producción de biodiésel a costos competitivos.

La Tabla 11 presenta un resumen de los retos prioritarios relacionados con la producción y logística de la recolección de la biomasa, los resultados esperados y la estrategia preferente para su atención.

En términos generales, la estrategia para atender los retos sería a través del uso de recursos disponibles a nivel nacional; es decir, con la participación de instituciones, infraestructura y especialistas nacionales. Su implementación implica el establecimiento de programas de fortalecimiento de la colaboración de universidades y centros de investigación con el sector productivo. Los aspectos particulares de cada uno de los retos se indican a continuación.

TABLA 11. RETOS RELACIONADOS CON LA PRODUCCIÓN Y LOGÍSTICA DE RECOLECCIÓN DE LA BIOMASA

Reto	Resultado esperado	Estrategia
Asegurar el abasto de materia prima para cumplir la meta de producción de biodiésel en el 2030.	Contar con un marco de referencia normativo para la selección de las materias primas que puedan ser destinadas a la producción de biodiésel en territorio nacional. Contar con una estrategia nacional para el desarrollo de cultivos destinados a la producción de biodiésel.	Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional.
Incrementar la productividad de los cultivos.	Disponer de variedades de cultivos de mayor productividad. Obtención de paquetes tecnológicos de cultivos de mayor productividad y adecuados a cada región. Contar con programas de capacitación para productores.	Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional.
Reducir los insumos y costos de producción agrícolas.	Obtención de materia prima a costos menores. Contar con prácticas agronómicas adecuadas al ciclo productivo agrícola documentadas. Contar con actividades productivas/agrícolas más eficientes debido a la mecanización de los cultivos.	Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional.

TABLA 11. RETOS RELACIONADOS CON LA PRODUCCIÓN Y LOGÍSTICA DE RECOLECCIÓN DE LA BIOMASA (CONT.)

Reto	Resultado esperado	Estrategia
Optimizar la logística de acopio de materia prima y residuos.	Disponer de normatividad para los procesos de colecta, almacenamiento y transporte de aceites vegetales y grasas animales residuales utilizados como materia prima para la producción de combustibles. Contar con centros de acopio de aceites vegetales y grasas residuales. Contar con centros de acopio de semillas y aceites vegetales crudos.	Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional.
Optimizar tecnologías para incrementar el rendimiento de producción de aceite.	Contar con tecnologías más eficientes de extracción de aceite. Disponer de alternativas de infraestructura para la incrementar la extracción de aceites. Contar con especialistas calificados para asesorar a productores agrícolas y recolectores de aceite en la extracción y obtención de aceites con la calidad adecuada para la producción de biodiésel.	Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional.
Generar alternativas tecnológicas de pretratamiento que hagan rentable el uso de residuos (grasas y aceites gastados).	Contar procesos de pretratamiento de residuos de aceites vegetales y grasas técnica y económicamente factibles. Disponer de infraestructura de pretratamiento de residuos en operación.	Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional.

a) Asegurar el abasto de materia prima para cumplir la meta de producción de biodiésel en el 2030

Actualmente las cantidades de materia prima disponibles en México para la producción industrial de biodiésel son insuficientes para asegurar su sostenibilidad y generar economías de escala, por lo que a continuación se proponen acciones, que en conjunto, buscan asegurar el abasto de materia prima para alcanzar las metas establecidas de la producción de biodiésel hacia el año 2030.

Fecha de Inicio: 2018

Los volúmenes de producción de cultivos susceptibles para obtener biodiésel, como son la palma, soya y canola, al día de hoy son insuficientes para cubrir la demanda interna. Los aceites vegetales residuales y grasas animales apenas son suficientes para generar un volumen de biodiésel equivalente al 0.5% de la demanda total de diésel. Los aceites microbianos ofrecen una opción para asegurar las metas establecidas; sin embargo, la tecnología para su obtención en volúmenes industriales está aún en desarrollo.

Fecha de finalización o término: 2022

TABLA 12. ACCIONES PRIORITARIAS SUGERIDAS PARA ASEGURAR EL ABASTO DE LA MATERIA PRIMA PARA CUMPLIR LA META DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL ESTABLECIDA

Acciones prioritarias sugeridas	*Periodo de atención*	*Participantes clave*
Integrar un comité intersecretarial para dirigir los esfuerzos relacionados con el aprovechamiento de cultivos energéticos para la producción de biocombustibles.	12 meses	SAGARPA, SEMARNAT, SENER.
Establecer una estrategia nacional para la gestión de los cultivos energéticos permitidos para la producción de biocombustibles.	12 a 36 meses	SAGARPA, SEMARNAT, SENER, productores de biodiésel, productores de cultivos energéticos, REMBIO.

Para asegurar la disponibilidad de materia prima de acuerdo a las metas establecidas a 2030, se requiere contar con un marco de referencia normativo que oriente a los productores de biocombustibles en la selección de las materias primas que pueden ser utilizadas para la producción de biodiésel en territorio nacional.

Existen diversos estudios que han analizado la conveniencia de diferentes cultivos, no obstante, en algunos casos, sus conclusiones son divergentes, particularmente por el uso de diferentes criterios de evaluación. En este sentido, se vuelve fundamental definir los criterios que serán utilizados para tomar las decisiones correspondientes con relación a los cultivos que serán permitidos para la producción de combustibles. Como tal, la falta de esta definición puede ser considerada como una barrera más que un reto técnico, por lo que en la sección II se abordan las acciones requeridas para su atención.

Lo anterior deriva en la necesidad de establecer una estrategia nacional para la gestión de cultivos energéticos, estrategia que debe ser liderada por un comité intersecretarial[9]. Incluso, la estrategia podría incluir propuestas de modificación a leyes

[9] Se debe considerar que actualmente existe la Comisión Intersecretarial para el Desarrollo de los Bioenergéticos, integrada por las Secretarías de Hacienda y Crédito Público; de Medio Ambiente y Recursos Naturales; de Energía; de Economía y de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

existentes, como lo es la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

La SENER en conjunto con SAGARPA y SEMARNAT son actores clave en esta acción, quienes en colaboración con otras Secretarías Federales deberán establecer los lineamientos para la producción y uso sostenible de los cultivos seleccionados como materia prima para la producción de biodiésel. En la definición de la estrategia se visualiza además la participación de productores de cultivos, productores de biodiésel, el Clúster BDA y la Red Mexicana de Bioenergía (REMBIO).

El reto debe atenderse de manera inmediata con el fin de incorporar fuentes de materia que permitan alcanzar resultados relevantes en el corto plazo.

Adicionalmente, el Comité intersecretarial propuesto deberá coordinar y articular los esfuerzos de promoción de investigación, desarrollo y producción de cultivos con fines energéticos, con el propósito de utilizar de forma eficiente los recursos.

b) Incrementar la productividad de los cultivos.

Para abordar este reto se identifican cuatro acciones, las cuales contribuirán al incremento en el rendimiento y calidad de los cultivos que serán la fuente de los aceites necesarios para producir biodiésel acorde a las diferentes regiones productoras del país.

En principio, se visualiza generar programas de mejoramiento genético de cultivos por las diferentes vías disponibles (selección artificial e ingeniería genética[10]), para obtener variedades de especies mejoradas con alto potencial de rendimiento. En esta actividad se requiere definir los cultivos con mayor potencial de producción de aceite. Para aumentar la productividad, se pueden aplicar diversas técnicas como la reproducción: cultivo in vitro, hibridación, ADN recombinante, inyección directa de ADN, mutagénesis dirigida, entre otras. En esta actividad el Plan Nacional de Reconversión de Cultivos, que actualmente dirige la SAGARPA, es un instrumento que puede ser aprovechado. Los resultados derivados de dichos programas se tendrán en el mediano y largo plazo. Ciertamente se deberá considerar la legislación aplicable a los cultivos modificados genéticamente a través de la ingeniería genética[11].

Como segunda acción se propone implementar la asociación de cultivos, específicamente, energéticos con básicos, con el objetivo de obtener una mayor cantidad de producto por hectárea. Particularmente, la jatropha, es un cultivo con posibilidades de alto rendimiento a través de esta técnica, pero para logarlo, requiere ser cultivada por periodos prolongados de tiempo.

Una tercera acción consiste en implementar paquetes tecnológicos agrícolas[12] apropiados a las condiciones de cada región, que considere tanto el vínculo entre los agricultores y la cadena productiva del biodiésel. Asimismo, también se requiere establecer un mecanismo que permita la retroalimentación para la mejora continua de su implementación.

IMAGEN 4. HIGUERILLA

Fuente: SAGARPA

10 Conjunto de técnicas de manipulación de ácido desoxirribonucleico y ácido ribonucleico recombinante "in vitro" o bajo condiciones especiales de laboratorio;

11 La Ley de Bioseguridad de organismos genéticamente modificados es de orden público y de interés social, y tiene por objeto regular las actividades de utilización confinada, liberación experimental, liberación en programa piloto, liberación comercial, comercialización, importación y exportación de organismos genéticamente modificados por lo que se deberá considerar en las actividades de investigación y desarrollo.

12 El paquete tecnológico agrícola comprende el manejo integral de un cultivo, incluyendo la siembra, riego, mantenimiento y cosecha.

Fecha de inicio: 2018 Fecha de finalización o término: 2021 – continua.

TABLA 13. ACCIONES PRIORITARIAS PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DE LOS CULTIVOS

Acciones prioritarias sugeridas	*Periodo de atención*	*Participantes clave*
Generar programas de mejoramiento genético de los cultivos (tradicional y molecular).	12 a 36 meses	Productores de cultivos energéticos, ColDT+i, SAGARPA. Comité Intersecretarial.
Implementar la asociación de cultivos energéticos con los básicos.	12 a 36 meses	Productores de cultivos energéticos, ColDT+i, SAGARPA, Comité Intersecretarial.
Implementar paquetes tecnológicos adecuados a cada región.	12 a 24 meses	Productores de cultivos energéticos, ColDT+i, SAGARPA, Comité Intersecretarial.
Ejecutar programas de capacitación y retroalimentación para productores e investigadores.	12 a 24 meses	Productores de cultivos energéticos, ColDT+i, SAGARPA, Comité Intersecretarial.

Por último, es necesario generar programas de capacitación y eventos que promuevan la interacción entre productores agrícolas e investigadores. A través de estos mecanismos se lograría difundir información que permita disponer de personal actualizado y capacitado en las mejores técnicas y prácticas para mantener altos niveles de productividad de los cultivos.

Para atender este reto existen capacidades técnicas a nivel nacional que, bajo una correcta coordinación, pueden ser aprovechadas. Sin duda, la atención de este reto implica la participación de la industria, instituciones gubernamentales, y la Comunidad de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación [13] bajo una posible coordinación del Clúster BDA. Las autoridades de coordinación son fundamentales para mantener alineados los esfuerzos de todos los actores hacia la misma visión. Adicionalmente, el Comité intersecretarial mencionado previamente, sería un actor sustancial que daría soporte a las diversas acciones planteadas, dirigiendo los recursos con mayor eficacia.

Un elemento imprescindible en la atención del reto son los instrumentos de financiamiento; al respecto es importante señalar que se requiere tanto de recursos públicos como privados para impulsar la participación del sector agrícola nacional en la cadena de producción de biocombustibles. Si bien, este reto requiere atención permanente, se espera en los primeros tres años sea posible lograr avances significativos.

[13] La Comunidad de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación está integrada por las instituciones de educación superior y los centros de investigación, desarrollo tecnológico e innovación tanto públicos como privados, incluyendo a los CEMIEs.

c) Reducir los insumos y costos de producción agrícolas.

Para atender este reto se visualizan tres acciones a través de las cuales se busca lograr una disminución significativa en los insumos y costos de la producción agrícola. La Tabla 14 presenta un resumen de las acciones propuestas para atender este reto.

La primera acción consiste en implementar la mecanización de cultivos para incrementar su rentabilidad; para esto se realizará el desarrollo y/o adaptación de tecnología para la mecanización de acuerdo al tipo de cosecha y el desarrollo de "variedades" de cultivos. Esta acción contempla la realización de actividades de investigación, incluyendo la adquisición de maquinaria escala piloto para cultivos no comestibles con el fin de explorar su factibilidad técnica. Se espera que al término de tres años se puedan lograr resultados significativos.

Como segunda acción se requiere implementar prácticas agrícolas tales como riego y campo tecnificado, limpieza de la semilla desde la cosecha, entre otras. Las prácticas deben ser adecuadas a cada región productiva y conforme al ciclo productivo agrícola, con esto será posible lograr mayor productividad de los cultivos reduciendo con ello los costos.

Fecha de inicio: 2018

Fecha de finalización o término: 2021 – continua

TABLA 14. ACCIONES PRIORITARIAS PARA REDUCIR LOS INSUMOS Y COSTOS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLAS

Acciones prioritarias sugeridas	*Periodo de atención*	*Participantes clave*
Implementar la mecanización de cultivos rentables.	Más de 36 meses.	Productores de cultivos energéticos, CoIDT+i, SAGARPA.
Implementar prácticas agrícolas adecuadas a cada región y conforme al ciclo productivo agrícola.	12 a 24 meses.	Productores de cultivos energéticos, CoIDT+i, SAGARPA.
Diseñar un instrumento de financiamiento para reducir el riesgo del agricultor.	12 a 24 meses.	Productores de cultivos energéticos, instituciones financieras.

La tercera acción propuesta se relaciona con reducir el riesgo del agricultor; para ello se propone diseñar un instrumento de financiamiento que permita disminuir el costo de capital y costo de los cultivos, facultar el acceso a créditos que consideren los riesgos de la actividad así como seguros contra eventos catastróficos, y promover la figura de agricultura por contrato[14].

La estrategia preferente para desarrollar este reto es a través de medios nacionales, y de manera específica se podría requerir la colaboración internacional para el desarrollo o adaptación de alguna tecnología de mecanización. Se necesita la participación de los productores de cultivos energéticos, CoIDT+i, SAGARPA e instituciones financieras. Este reto supone atención de manera permanente para alcanzar resultados a largo plazo, esperando los primeros resultados en el año 2021.

[14] La agricultura por contrato se estructura según el cultivo, los objetivos, los recursos del patrocinador y la experiencia del agricultor. Contratar la producción es una decisión comercial que permite una suficiente oferta en un período determinado a un precio económico.

d) Optimizar la logística de acopio de materia prima y residuos

Para optimizar la logística de acopio de materia prima y residuos se requieren tres acciones claves. La primera corresponde a generar lineamientos para regular la colecta, almacenamiento y transporte de aceites vegetales y grasas animales residuales. Los cuales debe cumplir con las características apropiadas para su posterior aprovechamiento. Esta acción implica tanto la generación de los lineamientos como su aplicación.

Los lineamientos deberán contemplar el manejo adecuado de los aceites y grasas por parte de los generadores con el fin de cuidar la calidad de estos y facilitar su procesamiento. Con esta acción lo que se busca es igualar las características de los aceites vegetales y grasas animales residuales que se pretendan destinar para la producción de combustibles. Lo anterior incluye establecer reglas para el acopio, generar alternativas, métodos y prácticas para el almacenamiento y distribución, así como auxiliar y coordinar a los responsables de cada actividad.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de finalización o término: 2023

TABLA 15. ACCIONES PRIORITARIAS PARA OPTIMIZAR LA LOGÍSTICA DE ACOPIO DE MATERIA PRIMA Y RESIDUOS

Acciones prioritarias sugeridas	*Periodo de atención*	*Participantes clave*
Generar lineamientos para regular la colecta, almacenamiento y transporte de aceites vegetales y grasas animales residuales.	24 meses	CoIDT+i, empresas recolectoras de residuos, productores de biodiésel, SAGARPA y SEMARNAT.
Crear y adaptar centros de acopio de residuos de aceites vegetales y grasas animales, y optimizar procesos de colecta, almacenamiento y transporte.	24 meses	CoIDT+i, empresas recolectoras de residuos, productores de biodiésel, SAGARPA y SEMARNAT.
Crear centros de acopio de la materia prima (semilla y aceite crudo) que se utilizará para la producción de biodiésel y optimizar procesos de colecta, almacenamiento y transporte.	24 meses	CoIDT+i, empresas recolectoras de residuos, productores de biodiésel, SAGARPA y SEMARNAT.

La segunda acción corresponde a la creación y adaptación de centros de acopio de residuos de aceites vegetales y grasas animales. Los centros de acopio deberán observar los lineamientos relacionados con la colecta, almacenamiento y transporte de aceites y grasas residuales. La ubicación de los centros de acopio deberá ser tal que permita optimizar los procesos de acopio, almacenamiento y transporte de los residuos destinados a la producción de combustibles. Aunque es deseable que la operación de los centros de acopio se realice bajo los lineamientos que se definan, su creación y puesta en operación se puede llevar a cabo en paralelo a estas definiciones.

En esta acción se deben considerar los centros de acopio que existen actualmente y que están subutilizados, así como la infraestructura destinada para otros usos pero que puede ser adaptada, como son los centros de

almacenamiento y transporte de otras industrias (por ejemplo la industria de los solventes).

La tercera acción también consiste en la creación de centros de acopio, con la salvedad que para este caso se refiere a la semilla y al aceite crudo que se utilizará para la producción de biocombustibles. Estos centros también deberán ubicarse preferentemente en aquellos lugares que faciliten la optimización de los procesos de colecta, almacenamiento y transporte hacia los centros productores de biodiésel. En general, se busca generar alternativas de acopio para los productores de cultivos, principalmente para aquellos pequeños productores cuyos cultivos se encuentran en lugares de difícil acceso.

Las acciones anteriores se pueden desarrollar con recursos disponibles a nivel nacional. En su realización se visualiza la participación de asociaciones de productores agrícolas y empresas dedicadas a la recolección de residuos, así como la participación de la CoIDT+i brindando servicios de asistencia técnica. Otros actores primordiales en la atención del reto son organismos gubernamentales como SEMARNAT e Instituciones de Gobierno, cuya contribución principal será generar las condiciones que permitan financiar la creación de centros de acopio así como liderar el desarrollo de las regulaciones pertinentes.

La atención a este reto debe iniciar de manera inmediata a fin de alcanzar resultados relevantes en el mediano plazo, es decir, en un periodo no mayor a tres años. Las tres acciones comenzarían de manera paralela y se estima que en un lapso de 24 meses se podrían observar avances significativos. Cabe señalar que la pertinencia de los lineamientos y su posible conversión en una norma deben ser revisadas periódicamente por lo que la primera acción podría extenderse hasta el 2030.

e) Optimizar tecnologías para incrementar el rendimiento de producción de aceite virgen.

La atención del reto de optimizar tecnologías para incrementar el rendimiento de producción de aceites provenientes de cultivos energéticos está directamente ligado a la generación de procesos eficientes para la producción, pretratamiento y extracción de los aceites. Su atención implica tres acciones consideradas como prioritarias.

En primer lugar es necesario optimizar los procesos de producción, pretratamiento y extracción de aceites. El desarrollo de los procesos depende de la fuente de obtención de dichos aceites, la cual varía tanto por su disponibilidad como por sus características particulares. Por tal razón, las tecnologías deberán enfocarse en la extracción de aceite de los cultivos con mayor potencial en México como son la palma, soya, canola, jatropha e higuerilla. Los procesos obtenidos deberán considerar futuras normas de calidad para la producción de biodiésel con la finalidad de obtener aceites con las especificaciones necesarias y así facilitar su transformación.

Se espera que los primeros resultados sean tangibles a partir del tercer año después de haber iniciado la atención a este reto. La participación de la CoIDT+i será clave para el desarrollo de la tecnología así como el apoyo financiero y su vinculación con el sector productivo.

En segundo lugar, se requiere contar con la infraestructura para poder operar los procesos mencionados en el punto anterior. La infraestructura involucra desde centros de acopio de materia prima, almacenamiento, maquinaria y equipo de procesos, sistemas de aireación, entre otras, las cuales pueden ser adquiridas o adaptadas. Los actores clave para que se ejecute esta acción son los productores de cultivos y las empresas comercializadoras de aceite.

El éxito de las dos acciones anteriores requiere de recursos humanos especializados, para el desarrollo de tecnología y el diseño de la infraestructura necesaria para ponerla en marcha. Dado que actualmente no se cuenta con la suficiente capacidad en cuanto a personal especializado, se requiere implementar programas de formación o conversión para la especialización en los procesos mencionados. Esta acción involucra principalmente la participación de universidades y centros de investigación y desarrollo tecnológico.

Fecha de Inicio: 2018 Fecha de finalización o término: 2021

TABLA 16. ACCIONES PRIORITARIAS PARA OPTIMIZAR TECNOLOGÍAS PARA INCREMENTAR EL RENDIMIENTO DE PRODUCCIÓN DE ACEITE

Acciones prioritarias sugeridas	*Periodo de atención*	*Participantes clave*
Realizar investigación y desarrollo enfocada a mejorar y generar tecnologías para la producción, pretratamiento y extracción de los aceites.	36 meses	CoIDT+i, productores de cultivos energéticos, SAGARPA, SENER.
Disponer y/o adaptar la infraestructura requerida para la producción, pretratamiento y extracción de los aceites.	24 meses en paralelo	CoIDT+i, productores de cultivos energéticos, SAGARPA, SENER.
Formación de recursos humanos especializados en procesos de producción, pretratamiento y extracción de aceites.	36 meses en paralelo	CoIDT+i, productores de cultivos energéticos, CONACyT, SAGARPA.

La atención de este reto podría abarcar un periodo de tres años por lo que de empezar su atención en el 2018 para finales del año 2021 se podrían alcanzar avances significativos. Todas las acciones descritas se pueden atender con capacidades nacionales involucrando la participación de la academia así como de los productores de cultivos energéticos e instituciones de gobierno clave (SENER, CONACyT y SAGARPA principalmente). Cabe señalar que la atención de este reto seguirá siendo relevante más allá del periodo de tres años en el que se esperan los primeros avances.

IMAGEN 5. BIODIÉSEL A PARTIR DE ACEITE VIRGEN

Fuente: CONACYT

f) Generar alternativas tecnológicas de pretratamiento que hagan rentable el uso de residuos

El reto de generar alternativas tecnológicas de pretratamiento que hagan rentable el uso de residuos de aceites vegetales gastados y grasas animales está ligado esencialmente al tipo y características de materia prima para la producción de biodiésel. En este sentido es fundamental estandarizar las características y calidad de la materia prima para la producción de biodiésel. Además, la materia prima debe ser de bajo costo para mejorar la rentabilidad de la producción de biodiésel.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de finalización o término: 2020 – continua

TABLA 17. ACCIONES PRIORITARIAS PARA GENERAR ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE PRETRATAMIENTO QUE HAGAN RENTABLE EL USO DE RESIDUOS

Acciones prioritarias sugeridas	*Periodo de atención*	*Participantes clave*
Fomentar la aplicación de la normatividad para la disposición de aceite usados de origen vegetal.	6 meses	SEMARNAT, gobiernos estatales y municipales.
Identificar, evaluar y seleccionar procesos y metodologías de pretratamiento adecuadas a la caracterización de residuos de aceites vegetales y grasas animales.	6 meses	CoIDT+i, productores de biodiésel, empresas recolectoras de residuos.
Implementar los procesos y metodologías seleccionados de pretratamiento de residuos de aceites vegetales y grasas animales.	6 meses	Productores de biodiésel, empresas recolectoras de residuos.
Operar procesos de pretratamiento de residuos de aceites vegetales y grasas animales.	6 meses	Productores de biodiésel, empresas de servicios técnicos especializados.
Impulsar la vinculación de las empresas de servicios técnicos especializados, instituciones dedicadas al desarrollo de tecnología y empresas productoras de biodiésel.	12 meses	CoIDT+i, productores de biodiésel, empresas de servicios técnicos especializados.

Para atender este reto se considera necesario realizar cinco acciones prioritarias. La primera acción consiste en fomentar el cumplimiento de las disposiciones regulatorias con relación a la disposición de residuos de aceites vegetales gastados[15]. Esta acción debe ser atendida por la SEMARNAT y los gobiernos estatales y municipales a través de sus instancias ambientales de inspección y vigilancia[16]. Se considera que en un plazo de seis meses podrán elaborar, implantar y aplicar mecanismos que aseguren el cumplimiento de la norma NOM-161-SEMARNAT-2011. Cabe señalar que esta norma es aplicable a empresas que generan más de 10 toneladas de residuos por año. Aunque los resultados de esta acción se esperan en un lapso de seis meses, su observación deberá ser permanente, puesto que tiene un alto impacto en el logro del reto. La atención a este reto dará mayor certidumbre a las inversiones que se realicen para incrementar la producción de biodiésel a partir de esta materia prima.

Las acciones 2, 3 y 4 están interrelacionadas. En primer lugar la identificación de las soluciones tecnológicas para el pretratamiento de residuos aceitosos y grasas animales inicia con la definición de la problemáticas de acopio y caracterización de la composición de los residuos. Lo anterior permitirá establecer las bases de diseño y elaborar los procesos de pretratamiento adecuados a las necesidades de las empresas recolectoras. Debido a la baja complejidad de esta actividad, ésta puede ser realizada con capacidades tecnológicas nacionales en un plazo relativamente corto. La atención de esta acción puede ser llevada a cabo por la CoIDT+i, entidades que deberán consultar a productores de biodiésel y empresas recolectoras de residuos para tener información empírica de la problemática. El diseño de las tecnologías y procesos de pretratamiento consideran los costos de inversión para su aplicación, ya que este aspecto es fundamental para la adopción de estos por parte de los actores interesados.

Por otra parte, la implementación de los procesos de pretratamiento se puede realizar una vez que se han caracterizado los residuos. Esta acción podría llevarse a cabo en un periodo inicial de seis meses, para ello, la CoIDT+i deberá socializar los resultados obtenidos con las empresas recolectoras de residuos (acopiadores) y productores de biodiésel, quienes serán los actores principales en la implementación de dichos procesos.

IMAGEN 6. EL COLOR DEL BIODIÉSEL DEPENDE DE LA PUREZA DEL ACEITE

Fuente: CONACYT

Finalmente la operación de los procesos de pretratamiento de residuos, que requerirá un plazo aproximado de seis meses, requiere tanto de la participación de empresas recolectoras de residuos como de empresas productoras de biodiésel. Estas tres acciones requerirán de un plazo mínimo de dieciocho meses.

La última de las acciones consideradas como relevantes para atender el reto es la vinculación de los sectores académico, industrial y gobierno. En esta vinculación se deberán generar soluciones prácticas que permitan el aprovechamiento de materia prima proveniente de diversas fuentes. Esta acción es importante para generar las sinergias necesarias en el aprovechamiento de residuos como insumo para la producción de combustibles. En este caso se estima que se requerirá de un plazo de 12 meses para dar inicio a su atención; posteriormente esta acción se deberá realizar de manera continua.

[15] NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

[16] NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 establece en materia de vigilancia lo siguiente: "La vigilancia de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a los Gobiernos del Distrito Federal y de los Estados a través de sus Instancias Ambientales de Inspección y Vigilancia, en el ámbito de sus respectivas jurisdicciones y competencias, quienes verificarán la existencia y la presentación del Plan de Manejo"

I.b. Producción y logística de comercialización de biodiésel

En este apartado se describen los retos identificados para las etapas de la cadena de valor que corresponden a la producción, distribución y comercialización del biodiésel. Los retos parten de la premisa de que la capacidad de producción de biodiésel crecerá en la medida en la que exista una mayor demanda para este combustible. Al respecto se advierte que el fortalecimiento de la industria requiere de lineamientos para el mezclado de biodiésel, la construcción de infraestructura de distribución, y la necesidad de establecer normas para certificar la calidad del combustible que se entrega al consumidor final.

La Tabla 18 muestra a manera de resumen, los retos asociados con la producción y comercialización de biodiésel, los resultados esperados así como la estrategia preferente para su atención.

El resultado esperado derivado de la atención de los retos que se presentan es contar con un producto capaz de competir con el combustible fósil en términos de costo, disponibilidad y calidad. La atención de estos retos se advierte en el corto plazo debido que a que ya existe una industria operando y que estos elementos constituyen insumos importantes para el desarrollo del mercado.

TABLA 18. RETOS RELACIONADOS CON LA PRODUCCIÓN Y LOGÍSTICA DE COMERCIALIZACIÓN DE BIODIÉSEL

Reto	Resultado esperado	Estrategia
Caracterizar y valorar co-productos en un esquema de biorrefinería.	Estrategia de comercialización de co-productos. Reducción del riesgo para los productores. Incremento de rentabilidad en la cadena productiva a través de los co-productos.	Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional.
Definir procedimientos y lineamientos para realizar el mezclado de biodiésel.	Protocolos para realizar las mezclas de biodiésel de acuerdo al punto de mezclado. Definición de mezclas permitidas para su comercialización.	Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional.
Crear programa de certificación de la calidad del biodiésel.	Lineamientos de operación del programa de certificación. Entidades habilitadas para ejecutar el programa de certificación.	Desarrollo en colaboración con entidades en el ámbito internacional.
Ampliar la disponibilidad de infraestructura para la distribución del biodiésel.	Lineamientos para el uso de infraestructura existente para transporte y almacenamiento de biodiésel.	Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional.
Escalar tecnología para la producción de biodiésel a nivel comercial a partir de aceites microbianos.	Tecnología para la producción comercial de biodiésel a partir de aceites microbianos.	Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional.

Por otro lado, es importante promover el avance de la investigación y el desarrollo de tecnologías emergentes como lo es la producción de biodiésel a partir de aceites microbianos, considerando la etapa de escalamiento, con el objetivo de contar en el mediano y largo plazo con un mejor conocimiento de la viabilidad técnica y económica de esta nueva tecnología para la industria.

Partiendo de la premisa de que el país cuenta con los recursos nacionales requeridos, la estrategia general para abatir los retos identificados se basa en promover la colaboración entre entidades nacionales, incluyendo el sector empresarial, la CoIDT+i y organismos reguladores.

a) Caracterizar y valorar co-productos en un esquema de biorrefinería.

La solución de este reto tiene como fin identificar y/o generar una estrategia para la valorización de los co-productos que se obtienen en toda la cadena de valor de la producción de biodiésel para fortalecer su viabilidad financiera y hacerlo sustentable. Se identifican cuatro acciones prioritarias para atender este reto.

La primera implica la identificación y generación de un mapa de oportunidades de los co-productos a partir de un análisis de sus usos directos potenciales y el de sus derivados, así como la viabilidad económica y potencial en el mercado. Ciertamente el estudio deberá considerar diferentes estrategias como análisis de productos independientes y en paquete (conjunto de productos). Se estima que tal acción requiere al menos un año para contar con una estrategia de colocación de los productos. Los involucrados en esta acción son principalmente los productores de biodiésel y el mercado, con apoyo de la CoIDT+i e instituciones gubernamentales que pueden proporcionar información sobre las opciones de mercado que tendrían los co-productos. También se prevé la participación del FSE y SAGARPA, dichas dependencias aportarían al financiamiento del proyecto a través de los fondos y otros mecanismos que actualmente coordinan.

En paralelo, la segunda acción tiene la finalidad de generar un perfil de cada co-producto, el cual incluiría los compuestos que se obtienen, sus propiedades, aplicación y su valor en el mercado. Esta actividad se llevaría a cabo en un periodo de dos años y los actores clave incluyen tanto a la CoIDT+i como a los productores de biodiésel.

Fecha de inicio: 2018 Fecha de finalización o término: 2021

TABLA 19. ACCIONES PRIORITARIAS PARA CARACTERIZAR Y VALORAR CO-PRODUCTOS EN UN ESQUEMA DE BIORREFINERÍA

Acciones prioritarias sugeridas	*Periodo de atención*	*Participantes clave*
Generar un mapa de oportunidades de mercado de co-productos.	12 meses	Productores de biodiésel, CoIDT+i, SAGARPA, FSE, INIFAP.
Caracterizar y valorizar cada co-producto.	24 meses en paralelo	Productores de biodiésel, CoIDT+i.
Promover investigación y desarrollo para la extracción de compuestos de alto valor agregado.	36 meses en paralelo	CoIDT+I.
Realizar difusión del valor agregado de los co-productos.	24 meses en paralelo	Productores de biodiésel, CoIDT+i.

También de manera simultánea, se deberán llevar a cabo proyectos de investigación y desarrollo para generar soluciones tecnológicas para la recuperación de los compuestos de valor agregado identificados en el mapa de oportunidades. Por lo tanto, uno de los principales actores en esta actividad es la CoIDT+i. Los resultados de esta acción se esperan obtener a partir del tercer año de haber iniciado su ejecución.

Por último, se requiere realizar la promoción y/o difusión en el mercado potencial de las aplicaciones que tendrían los compuestos obtenidos a partir de los co-productos así como su valor. Para esta acción es necesario la participación de los productores de biodiésel así como de instituciones gubernamentales que apoyarían en la difusión a través de diferentes medios y con información de los sectores donde sería potencial la aplicación de dichos compuestos. Esta acción llevaría al menos tres años para obtener resultados. Se estima que la atención de este reto podría abarcar un periodo de tres años, por lo que para el año 2021 se podrían alcanzar avances importantes siempre y cuando se inicien acciones de manera inmediata.

Al igual que el reto anterior, este reto puede atenderse con capacidades nacionales involucrando la participación de la CoIDT+i, así como de instituciones de gobierno clave incluidas SENER y SAGARPA y el FSE.

b) Definir procedimientos y lineamientos para realizar el mezclado de biodiésel

El proceso de mezclado de biodiésel con diésel de origen fósil carece de normatividad y regulación; como resultado se tiene un producto con variaciones en sus características y calidad. Dichas oscilaciones pueden afectar el desempeño de los vehículos, por ejemplo; se puede producir el taponamiento de filtros de combustible por el desprendimiento de sedimentos y el sobre calentamiento de los motores. La consecuencia final asociada a esta situación, es la pérdida de confianza del consumidor y desprestigio de los biocombustibles.

Fecha de inicio: 2018

Fecha de finalización o término: 2020

TABLA 20. ACCIONES PRIORITARIAS PARA DEFINIR PROCEDIMIENTOS Y LINEAMIENTOS PARA REALIZAR EL MEZCLADO DE BIODIÉSEL

Acciones prioritarias sugeridas	*Periodo de atención*	*Participantes clave*
Definir los puntos de mezcla del biodiésel.	12 a 24 meses	CRE, SENER, ASEA, Productores y distribuidores de biodiésel.
Definir porcentaje de mezcla permitida y los parámetros correspondientes.	12 a 24 meses	CRE, SENER, ASEA, CoIDT+i, productores y distribuidores de biodiésel.
Definir los procedimientos de operación para el proceso de mezclado.	12 a 24 meses	CRE, SENER, ASEA, Productores y distribuidores de biodiésel, CoIDT+i.

La atención de este reto comprende tres acciones clave que en conjunto buscan garantizar la calidad del biocombustible (Ver Tabla 20). Dichas acciones se podrán realizar de forma paralela. La primera de ellas se centra en definir los puntos de mezclado [17] . Actualmente, dicha actividad se realiza en diferentes sitios, por ejemplo; en las pipas de transporte, en los contenedores de las plantas de producción y en los tanques de los vehículos durante el proceso de recarga de combustible. Independientemente del punto de mezclado, los distribuidores deberán mantener ciertas condiciones y aplicar procedimientos que den como resultado un producto con las características óptimas que pueda ser utilizado en los vehículos sin causar impactos negativos.

La segunda acción clave es definir los porcentajes de mezcla que serán autorizados para su comercialización. Ciertamente, se deberán aprobar únicamente las mezclas que garanticen un el desempeño adecuado de los vehículos. Algunos de los parámetros que se deben considerar son consumo, potencia del motor, nivel de emisiones, entre otros. Para realizar esta acción se requiere de la participación de la CoIDT+i, quien realizará los estudios pertinentes para identificar las mezclas más convenientes considerando las condiciones nacionales (composición de gasolina). La colaboración de las empresas automotrices (productores nacionales e internacionales) es importante para dar las garantías aplicables a los motores. Otro actor clave es el Gobierno, representado por la SENER, cuya labor será definir los porcentajes de mezcla.

Finalmente, la forma como se debe realizar el mezclado es relevante para garantizar la calidad del producto, por lo que será importante definir lineamientos generales que guíen los procedimientos de operación de los productores y distribuidores de biodiésel y sus mezclas. Dicho documento deberá especificar los instrumentos y mejores prácticas, así como los controles requeridos que se evaluarán durante la mezcla y distribución del biodiésel.

Estas tres acciones pueden ser resueltas de forma integral al generar un documento tipo norma o lineamiento en donde se definan los puntos mencionados[18]. Su atención se estima que podría tener una duración aproximada de dos años.

c) Crear programa de certificación de la calidad del biodiésel.

Debido a las variaciones tanto en las materias primas utilizadas como en los procesos de producción, es necesario establecer las características que debe presentar el biodiésel que se comercializa. Derivado de ello, es necesario generar confianza en el consumidor a través de la creación de programas de certificación de la calidad de biodiésel. Los programas de certificación permitirían restringir la comercialización de biodiésel con características no adecuadas para su uso, asegurando la calidad del combustible. Como resultado tangencial, se observa que la certificación podría influir en la estandarización de precios.

Para abordar este reto se requiere inicialmente determinar a los actores involucrados para establecer los programas de certificación (Ver Tabla 21). En este proceso la SENER actuaría como facilitador y los productores de biodiésel quienes deberán desarrollar los programas de certificación en colaboración con entidades de acreditación y comunidad de investigación y desarrollo.

Una vez identificadas las organizaciones que puedan elaborar el programa de certificación, se deberá emitir una directriz para designar al organismo encargado de su elaboración. En el programa de certificación se definirán responsables y el plan de trabajo. El programa deberá establecer también el tipo de certificación que se adoptará; por ejemplo, etiqueta de producto o categoría de producto.

[17] La fracción II del artículo 41 de la Ley de Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética establece que la CRE tiene atribuciones para regular el transporte y comercialización de bioenergéticos, sin embargo no se precisa que están incluidas sus mezclas con combustibles de otro origen. Mientras la ley no lo indique de manera explícita es probable que existan controversias entre las empresas dedicadas al transporte y comercialización del biodiésel.

[18] Actualmente existe un grupo de trabajo multi disciplinario trabajando en el diseño de los lineamientos para regular el biodiésel y sus mezclas. Dicho documento contempla características finales únicamente.

Fecha de Inicio: 2018 Fecha de finalización o término: 2020 - continua

TABLA 21. ACCIONES PRIORITARIAS SUGERIDAS PARA CREAR UN PROGRAMA DE CERTIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE BIODIÉSEL

Acciones prioritarias sugeridas	*Periodo de atención*	*Participantes clave*
Determinar a los actores involucrados para establecer los programas de certificación.	12 meses	SENER, productores de biodiésel, entidades de certificación, Clúster BDA.
Emitir una directriz para designar a un organismo que elabore el programa de certificación.	12 meses	SENER, productores de biodiésel, sector automotriz, entidades de certificación, Clúster BDA, EMA.
Establecer el esquema y el responsable de la ejecución del programa de certificación.	Permanente	SENER, productores de biodiésel, entidades de certificación, Clúster BDA, EMA.

Una vez que se cuente con el programa de certificación se tendrá que establecer el esquema y el responsable de su ejecución. Se tendrá que hacer la difusión del programa de certificación, evaluarlo y con los resultados obtenidos afinar la política pública. Como resultado de esta acción se espera una mejor organización de los productores de biodiésel.

Este reto, a pesar de que debe de iniciarse en el corto plazo considerando que los resultados se observarán en el mediano plazo dentro de un proceso de mejora continua. La atención del reto involucraría la participación de la SENER, Industria, entidades de certificación, instituciones de educación superior y centros de investigación, de ser posible bajo la coordinación del Clúster BDA. Para el desarrollo del programa de certificación se recomienda considerar el esquema nacional de certificación de la EMA y establecer alianzas de colaboración con organismos de certificación extranjeros con experiencia en este ámbito. Es importante destacar que estos programas de certificación deberán considerar el biodiésel puro (B100) y diferentes mezclas con diésel fósil.

d) Ampliar la disponibilidad de infraestructura para la distribución del biodiésel

La disponibilidad de infraestructura para la distribución del biodiésel es una condición que impacta en su precio por lo que se propone una estrategia para su atención. La Tabla 22 muestra las dos acciones consideradas como prioritarias en el desarrollo de la estrategia. La primera acción que se contempla es permitir el acceso de infraestructura de almacenamiento y transporte por ductos a los productores de biodiésel; la segunda acción consiste en permitir el uso de los vehículos de transporte de combustible fósil (buque tanque y carro tanque) para el biodiésel. Cabe señalar que en el caso de mezclas sí se podrían utilizar los ductos existentes, pero un B100 se contaminaría, por lo que es necesario considerar otros medios para su transporte.

Fecha de inicio: 2018 Fecha de finalización o término: 2020

TABLA 22. ACCIONES PRIORITARIAS SUGERIDAS PARA AMPLIAR LA DISPONIBILIDAD DE INFRAESTRUCTURA PARA LA DISTRIBUCIÓN DE BIODIÉSEL

Acciones prioritarias sugeridas	*Periodo de atención*	*Participantes clave*
Permitir el uso de la infraestructura (ductos y TARs) existente (diésel fósil).	12 meses	CRE, ASEA, SENER, PEMEX, Distribuidores de biodiésel.
Igualar las condiciones en el sistema de transporte de los combustibles (buque tanque y carro tanque).	12 meses	CRE, ASEA, SENER, Distribuidores de biodiésel

El resultado esperado derivado de estas acciones, es reducir los costos de distribución y ampliación de la cobertura. En este sentido, es fundamental contar con lineamientos claros que permitan a las empresas intermediarias de combustibles participar en la distribución de biodiésel.

Las entidades claves involucradas en estas acciones son principalmente órganos reguladores y los actuales administradores de la infraestructura (PEMEX). Cabe señalar que la fracción II del artículo 41 de la Ley de Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética faculta a la CRE para otorgar permisos para el expendio al público de bioenergéticos, pero no indica de manera explícita si las mezclas de hidrocarburos y bioenergéticos están consideradas dentro de sus facultades. En este sentido es necesario revisar si es necesario proponer su modificación.

La liberación de la importación de los combustibles sin duda modifica las condiciones actuales de distribución y comercialización del biodiésel. Consecuentemente, se debe considerar la posibilidad de aprovechar los mecanismos actuales utilizados por la industria para distribuir el biodiésel y que se observan como eficaces, por ejemplo; permitir el transporte en contenedores de plástico, además y el uso de vehículos de transporte de otras industrias como de solventes y combustibles alternos. Por lo anterior será importante generar normas que consideren condiciones de operación seguras y que garanticen la calidad del producto, por ejemplo autorizando los contenedores de plástico antes mencionados siempre que sean de doble capa de polietileno. También se debe examinar la posibilidad de aprovechar las instalaciones de las actuales distribuidoras para el proceso de mezclado.

e) Escalar tecnologías para la producción de biodiésel a nivel comercial a partir de aceites microbianos.

De acuerdo con los resultados de diversos estudios a nivel laboratorio, los aceites microbianos representan una fuente potencial futura de materia prima para producir biodiésel. La producción industrial de biodiésel requiere el suministro de grandes volúmenes de materia prima, por lo que los aceites microbianos sólo se podrán considerar como una alternativa confiable cuando se logre su producción en escala industrial o comercial.

El principal reto en el escalamiento de procesos para el aprovechamiento de los aceites microbianos como fuente de materia prima para la obtención de biodiésel se encuentra en la tecnología de producción de estos aceites. La naturaleza de los procesos biotecnológicos requeridos para la producción en grandes volúmenes implica la realización intensiva de actividades de investigación y desarrollo tecnológico las cuales pueden ser descritas en términos de las acciones secuenciales del proceso de innovación tecnológica.

Fecha de Inicio: 2018 Fecha de finalización o término: 2026

TABLA 23. ACCIONES PRIORITARIAS PARA ESCALAR TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL A NIVEL COMERCIAL A PARTIR DE ACEITES MICROBIANOS.

Acciones prioritarias sugeridas	*Periodo de atención*	*Participantes clave*
Seguir las etapas y sub-etapas del proceso de innovación tecnológica	De tres a ocho años*	Clúster BDA

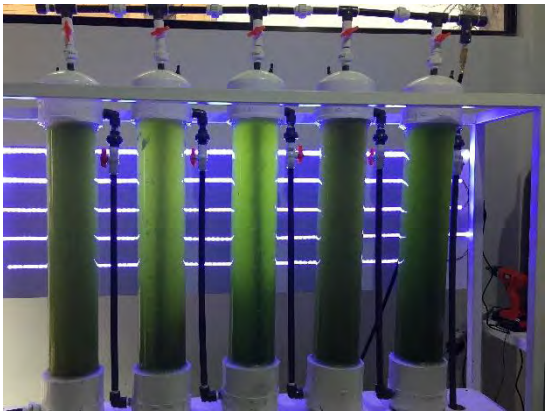
*El periodo es muy variable porque depende del avance de cada una de las etapas del proceso.

Dentro de las actividades que comprende esta acción se encuentran:

1. Identificación y caracterización de variedades de microorganismos;
2. Pruebas a escala piloto de variedades seleccionadas;
3. Pruebas a escala semi-industrial e industrial de variedades seleccionadas, y;
4. Empaquetamiento de la tecnología de producción de aceite.

Particularmente, la tecnología de producción de biodiésel a partir de aceites microbianos ya cuenta con avances de investigación en México, pero aún se requiere desarrollar un mayor número de pruebas a fin de contar con evidencias que permitan validar su viabilidad en escalas industriales. Se considera que las universidades e instituciones de investigación bajo la coordinación del Clúster BDA pueden desplegar acciones de investigación, desarrollo en este ámbito. El Clúster BDA ya cuenta con iniciativas de investigación en esta línea, por lo que se espera que si el resto de las etapas del proceso de innovación tecnológica se desarrollan de manera exitosa, se podría tener una nueva fuente de producción de biodiésel en el mediano plazo.

IMAGEN 7. REACTORES PARA LA PRODUCCIÓN DE ACEITES MICROBIANOS



Fuente: CONACYT

II. Acciones habilitadoras para fomentar el desarrollo de la industria: Barreras

Un aspecto fundamental para facilitar la implementación de las acciones estratégicas que se han establecido para incentivar y fortalecer el crecimiento de la industria de biodiésel hacia el año 2030, es la definición de acciones habilitadoras orientadas a eliminar o reducir las barreras identificadas. En términos generales, las barreras que limitan la velocidad de implementación de nuevas fuentes de energía se clasifican en cinco tipos:

- ***Económicas:*** Estas incluyen aspectos de mercado, financiamiento, inversiones, y de la existencia y disposición de actores relevantes - clientes y proveedores, inversionistas, instituciones de financiamiento - requeridos para facilitar los proyectos de energías renovables.

- ***Recursos Humanos:*** Consideran aspectos relacionados con la disponibilidad, suficiencia y especialización de personal técnico y profesionista para soportar las actividades de la cadena de valor de la producción de energías renovables.

- ***Regulatorias:*** Estas barreras están relacionadas con los aspectos de política tecnológica, energéticas e industrial; instrumentos legales; así como de administración de permisos de uso y explotación de recursos naturales y manifestación de impacto ambiental, que limitan el desarrollo de un proyecto de energías renovables.

- ***Sociales:*** Este tipo de barreras considera el impacto en las comunidades y la participación de la sociedad en general, durante el desarrollo e implementación de proyectos de energías renovables. Por ejemplo, este tipo de barreras comprenden aspectos relacionados con impacto en la salud, seguridad industrial, participación en la toma de decisiones, disposición a utilizar la energía renovable, por citar algunos.

- ***Ambientales:*** Todas las tecnologías de energías renovables tienen algún impacto en el medioambiente local - p. e., uso de la tierra, ecosistemas naturales, áreas naturales protegidas, activos históricos y culturales. Algunas veces estos impactos pueden constituir el mayor conflicto con otros intereses.

En el caso de la producción de biodiésel, las barreras principales se ubican en tres de las categorías anteriores: económicas, regulatorias y sociales (Ver Tabla 24). A continuación, se describen las acciones propuestas para superar las barreras que reducen el uso de biodiésel como combustible.

TABLA 24. BARRERAS QUE LIMITAN EL FORTALECIMIENTO DEL SECTOR DE BIODIÉSEL

Tipo de barrera	*Barrera*	*Líneas de acción*
Económicas	Falta de mercado en México para el biodiésel.	Impulsar el crecimiento del mercado para biodiésel.
	Capacidad reducida de procesamiento de la mayoría de las plantas comerciales actuales.	Fomentar inversiones en plantas de mayor capacidad.
Regulatorias	Falta de definición a nivel federal de los cultivos que pueden ser utilizados para la producción de biocombustibles.	Definir los cultivos energéticos que pueden ser utilizados para la producción de biodiésel.
	Ausencia de normatividad que establezca las propiedades físicas y químicas que deben cumplir el biodiésel puro (B100) y sus mezclas.	Liberar la normatividad del biodiésel puro (B100) y mezclas.
Sociales	Desconfianza de los usuarios y la sociedad en general sobre el uso de biodiésel.	Promover el uso de biodiésel.

II.a Ámbito Regulatorio

Adicionalmente a las barreras de tipo económico, se identifica que existen dos barreras de tipo regulatorio que limitan el crecimiento de la industria de biodiésel en México:

1. Falta de definición a nivel federal de los cultivos que pueden ser utilizados para la producción de biocombustibles.

2. Ausencia de normatividad que establezca las propiedades físicas y químicas que debe cumplir el biodiésel puro (B100) y sus mezclas.

A continuación se mencionan las líneas de acción propuestas para superar las barreras indicadas anteriormente.

a) Definir los cultivos energéticos que pueden ser utilizados para la producción de biodiésel

Una barrera que limita las acciones tendientes a asegurar la disponibilidad de materia prima para la producción de biocombustibles es la falta de definición a nivel federal de los cultivos que pueden ser utilizados para la producción de biocombustibles. Mientras no exista un acuerdo de los cultivos permitidos para la producción de biodiésel, los avances que se logren en las acciones estratégicas contempladas en la categoría de producción y logística de recolección de biomasa (Sección I.a) serán limitados.

TABLA 25. ACCIONES HABILITADORAS PARA DEFINIR LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS QUE PUEDEN SER UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

Acciones prioritarias sugeridas	Principales actores involucrados	Tiempo estimado para su solución
Generar un acuerdo a nivel nacional de los cultivos energéticos que pueden ser utilizados para la producción de biodiésel.	SENER, SAGARPA, SEMARNAT y el Clúster BDA	Uno a dos años

Para superar esta barrera es fundamental que exista un acuerdo a nivel nacional de los cultivos que pueden ser utilizados para la producción de biocombustibles, particularmente de biodiésel (Tabla 25). Si bien las grasas de origen animal y aceites gastados son las materias primas que actualmente utilizan la mayoría de los procesos actuales, económicamente no es viable considerarlos como insumos únicos para la producción de biodiésel en grandes volúmenes debido a su limitada disponibilidad y complejidad de la logística de recolección.

Por lo anterior, es fundamental definir los cultivos energéticos que podrían ser utilizados para la producción de biodiésel. Los aceites provenientes de cultivos como jatropha, palma, higuerilla y otros cultivos oleaginosos no comestibles son considerados como los más apropiados para la producción de biodiésel en el corto y mediano plazo; sin embargo, aún no existe un pronunciamiento oficial a nivel nacional en relación a su uso para producir biocombustibles. La atención de esta acción considera la participación de SENER, SAGARPA, SEMARNAT y el Clúster BDA.

En la medida en la que exista una definición de los cultivos permitidos tanto productores agrícolas como de biodiésel podrán establecer conversaciones para realizar compromisos para el abasto de materia prima en los volúmenes que hagan rentable las inversiones en plantas de mayor capacidad.

b) Liberar la normatividad del biodiésel (B100) y mezclas

En el ámbito nacional no existe aún normatividad que establezca las propiedades físicas y químicas que deben cumplir el biodiésel puro (B100) y sus mezclas. Esto podría considerarse como una barrera de tipo regulatoria. El no existir una normatividad aplicable a nivel nacional, reduce la posibilidad de que se establezcan estándares en la producción y uso del biodiésel. La atención de esta barrera es fundamental para habilitar las acciones dirigidas a asegurar el abasto de materia prima para cumplir la meta de producción de biodiésel al 2030.

TABLA 26. ACCIONES HABILITADORAS PARA LIBERAR LA NORMATIVIDAD DEL BIODIÉSEL (B100) Y MEZCLAS

Acciones prioritarias sugeridas	Principales actores involucrados	Tiempo estimado para su solución
Liberar la normatividad del biodiésel (B100) y mezclas.	SENER, SEMARNAT, CRE, Clúster BDA, productores de biodiésel y fabricantes de motores.	Un año

Naturalmente, la acción a tomar es liberar la normatividad de biodiésel (Tabla 26). El resultado esperado derivado de la atención de la normatividad es entre otros dar confianza al consumidor al regular las características del producto. Cabe señalar que la SENER ha venido trabajando en este tema y actualmente se han logrado avances significativos en la generación de la norma y se espera que ésta sea emitida durante el año 2017. En el proceso de liberación de la norma, SENER deberá interactuar con otras entidades como la SEMARNAT, la CRE, PEMEX, Clúster BDA, productores de biodiésel y fabricantes de motores.

Es deseable que los fabricantes de motores y la industria automotriz se involucren en la redacción final de la normatividad, de tal manera que desempeño del motor utilizando mezclas de biodiésel sea garantizado por ellos.

Finalmente, se debe señalar que el gobierno federal no contempla establecer un mandato de mezcla como se ha hecho en otros países; sin embargo, se ha incluido en el paquete de estímulos fiscales para el año 2017, un estímulo que consiste en la acreditación del IEPS para diferentes usos incluyendo como combustibles en vehículos, medida que si bien impacta en el precio final del biodiésel, aún no es suficiente.

II.b Ámbito Económico

Se identifica que existen dos barreras de tipo económico que limitan el crecimiento de la industria de biodiésel en México:

1. Falta de mercado en México para el biodiésel
2. Reducida capacidad de procesamiento de la mayoría de las plantas comerciales actuales[19]

A continuación se mencionan las líneas de acción propuestas para superar estas barreras.

a) Impulsar el crecimiento del mercado para biodiésel

Dentro de las barreras de tipo económico que limitan la penetración del biodiésel tenemos la falta de un mercado en México para este combustible. Si bien, existen actualmente empresas que transforman aceites gastados de

[19] Se sabe que existe una relación directa entre la demanda del mercado y la capacidad instalada; sin embargo el acceso a los recursos necesarios para la construcción de una planta de biodiésel de grandes dimensiones se observa como una barrera importante para la industria.

cocina y grasas de origen animal en biodiésel, su cartera de clientes aún es muy limitada. Esta situación se deriva particularmente de dos razones. La primera tiene que ver con la limitada información técnica de los parámetros de calidad y desempeño del biodiésel en los motores.

Los fabricantes de motores aún no han establecido los lineamientos para el uso de biodiésel o mezclas con diésel en las unidades vendidas en México. En consecuencia, los usuarios no están dispuestos a experimentar el desempeño del combustible en sus unidades.

La segunda razón tiene que ver con la falta de diferenciación en precio con el diésel de origen fósil. El precio de venta del biodiésel aún no es competitivo en relación al diésel fósil, por tanto no existen incentivos suficientes para que el usuario final opte por utilizar biodiésel. Los productores de este bioenergético argumentan que una eventual exención del pago del IEPS podría generar incentivos suficientes para detonar la demanda de diésel. La Tabla 27 indica las acciones habilitadoras recomendadas para impulsar el crecimiento del mercado de biodiésel.

TABLA 27. ACCIONES HABILITADORAS PARA IMPULSAR EL CRECIMIENTO DEL MERCADO DE BIODIÉSEL

Acciones prioritarias sugeridas	Principales actores involucrados	Tiempo estimado para su solución
Difundir información sobre pruebas de desempeño del biodiésel y sus mezclas en motores.	Clúster BDA, productores de biodiésel y fabricantes de motores	Un año
Especificar los parámetros mínimos necesarios para desarrollar pruebas de calidad del biodiésel de bajo costo.	SENER, Clúster BDA y productores de biodiésel	Un año
Explorar incentivos para productores de cultivos energéticos y de biodiésel.	SENER, SEMARNAT, SAGARPA	Un año

Para atender esta barrera, se identifican tres acciones que ayudarían a impulsar el crecimiento de la demanda. Una primera acción a realizar es difundir información técnica sobre el desempeño del biodiésel y sus mezclas en motores de diferentes fabricantes. Con la colaboración de empresas fabricantes de automóviles, camiones y tractocamiones, los productores de biodiésel deberán realizar programas de difusión de información que permita a los usuarios elegir el combustible y distinguir los parámetros de calidad de los mismos. En la ejecución de esta actividad, es importante la participación del Clúster BDA para actuar como árbitro y organismo de soporte técnico.

Una segunda acción es la definición de los parámetros mínimos necesarios que permitan conocer de manera económica la calidad del biodiésel. Hoy en día, el costo de las pruebas de laboratorio para establecer la calidad del biodiésel son elevadas particularmente para los pequeños productores. El contar con pruebas de menor alcance reduciría su costo y permitiría que las empresas que producen volúmenes bajos puedan ofrecer su producto en el mercado. Si bien la ejecución de esta acción debe ser liderada por las empresas productoras de biodiésel, la participación tanto SENER como el Clúster BDA son fundamentales.

La tercera acción que se propone corresponde a definir los incentivos que ofrecerá el gobierno tanto a productores de cultivos energéticos como a las empresas productoras de biodiésel. SENER y SAGARPA han explorado de manera independiente diversas alternativas para impulsar la industria de biocombustibles. Sin embargo, aún no han definido una posición clara sobre la participación del gobierno en esta industria. Se espera que en breve se definan los incentivos que se ofrecerán a productores de cultivos energéticos y a productores de biodiésel. A decir de éstos últimos, el biodiésel está sujeto al pago del impuesto especial sobre productos y servicios (IEPS) como cualquier otro combustible. El gravamen al que está sujeto el biodiésel, aunque menor que el de los combustibles fósiles, aún es alto y lo coloca en franca desventaja frente al diésel de origen fósil por un amplio rango de precios. En ese sentido, la exención del pago del IEPS podría ser un incentivo favorable en caso de que no exista algún mandato federal que obligue la adición de un porcentaje de diésel de origen biológico al diésel de origen fósil[20]. En este sentido se deberá considerar las prácticas internacionales como elemento de análisis para los tomadores de decisiones, en donde los biocombustibles están exentos del pago de impuestos relacionados con el carbono y la emisión de gases de efecto de invernadero en general. Se estima que en un plazo de dos a tres años se podrían tener resultados significativos en el abatimiento de esta barrera.

b) Fomentar inversiones en plantas de mayor capacidad

El costo de producción de biodiésel podría reducirse en la medida en la que los volúmenes de producción en las plantas sean mayores. En este sentido, la segunda barrera que se identifica se relaciona con la reducida capacidad de proceso de la mayoría de las plantas comerciales actuales. En la medida en la que los empresarios estén dispuestos a instalar plantas de mayor escala, o pequeñas biorrefinerías que utilicen residuos como materia prima y con una localización estratégica que permita el acceso a la materia prima a un bajo costo, el precio del biodiésel podría reducirse de manera significativa. La barrera en este sentido corresponde a la falta de programas o iniciativas de financiamiento que permitan a los productores de biodiésel acceder a capital en condiciones que contemplen las particularidades de la producción de biocombustibles. La Tabla 28 presenta las acciones habilitadoras recomendadas para fomentar inversiones en plantas de mayor capacidad.

TABLA 28. ACCIONES HABILITADORAS PARA FOMENTAR INVERSIONES EN PLANTAS DE MAYOR CAPACIDAD

Acciones prioritarias sugeridas	Principales actores involucrados	Tiempo estimado para su solución
Establecer programas de financiamiento que contemplen las particularidades de la producción de biocombustibles.	Productores de cultivos energéticos, productores de biodiésel y banca de desarrollo.	Un año
Difundir información sobre las fuentes de financiamiento público y privado que existen a nivel nacional e internacional.	SENER, Clúster BDA.	Un año

[20] Los productores de biodiésel consideran que a pesar del incremento del precio de los combustibles fósiles derivado de la liberalización de los mismos el biodiésel resulta poco atractivo para los consumidores.

Como segunda acción se propone difundir información entre los productores de cultivos energéticos y biodiésel sobre fuentes de financiamiento públicas y privadas que pueden ser utilizadas para realizar inversiones en la producción de volúmenes comerciales de biocombustibles. Los resultados podrían ser evidentes en un plazo de uno a dos años.

II.c Ámbito Social

Existe una barrera de tipo social que se considera necesaria atender para detonar el crecimiento de la industria de biodiésel en México, esta es la siguiente:

1. Desconfianza de los usuarios y la sociedad en general sobre el uso de biodiésel.

A continuación se describe la línea de acción propuesta para superar esta barrera.

a) Promover el uso de biodiésel

La última de las barreras, pero no menos importante, es de tipo social. Esta barrera es la desconfianza de los usuarios y la sociedad en general sobre el uso de biodiésel como un sustituto fiable del diésel fósil. La desconfianza derivada del desconocimiento de su desempeño, la falta de regulación y certificación de la calidad del biodiésel hacen necesario establecer estrategias de difusión de los beneficios de su uso.

La acción propuesta considera la creación de un programa de difusión con contenidos orientados a promover y fortalecer la confianza de la sociedad en el uso de biodiésel (Tabla 29). Dicho programa puede incluir la creación y difusión de páginas electrónicas con información sobre el biodiésel, directorios de proveedores confiables y documentos con la regulación y experiencias de éxito relacionadas, entre otros. La participación de los fabricantes de motores y la industria automotriz para esta acción se observa como clave ya que ellos también deberán dar garantía del desempeño de los vehículos al utilizar las diferentes mezclas, así como los requerimientos de mantenimiento adicional, de ser necesario.

Los principales promotores de la acción son la SENER y SEMARNAT en conjunto con los gobiernos estatales y municipales. Asimismo, considerando que uno de sus objetivos es proteger los derechos de los consumidores y proporcionar información oportuna y objetiva para el consumo, la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) se visualiza como otro participante clave. Aunque pudiera considerarse permanente, el programa de difusión puede implementarse en un plazo menor a cinco años y en paralelo a las acciones tendientes a desarrollar la industria de biodiésel en México. Los resultados de emprender la acción propuesta podrían ser visibles en un plazo de tres a cinco años.

TABLA 29. ACCIONES HABILITADORAS PARA PROMOVER EL USO DE BIODIÉSEL

Acciones	Principales actores involucrados	Tiempo estimado para su solución
Promover y fortalecer la confianza de la sociedad en el uso de biodiésel.	SENER, SEMARNAT, PROFECO, Gobiernos estatales y municipales	Menor a 5 años

Finalmente, es importante comentar que si bien, en este reporte no se incluyen acciones habilitadoras de tipo ambiental, sería muy importante considerar la realización de estudios sobre el "Análisis de Ciclo de Vida (Life Cycle Assesment)" en los proyectos de producción y uso de biodiesel. Estos estudios deberán emplear como referencia las mejores prácticas internacionales para evaluar la sustentabilidad ambiental de manera más integral e identificar las etapas, procesos o tecnologías que representan un área de oportunidad para mejorar el desempeño ambiental y energético a lo largo de su ciclo de vida (Santoyo-Castelazo & Azapagic, 2014; (European Commission, 2016; US DOE, 2017).

IMAGEN 8. CULTIVO DE PALMA DE ACEITE

Fuente: SAGARPA

Diagrama

El mapa de ruta permite visualizar las acciones por realizar en el periodo 2018 – 2030 para impulsar el desarrollo de la industria de biodiésel en México. El mapa se compone por cinco capas diferentes: metas, impulsores, materias primas consideradas, retos y acciones habilitadoras; las cuales están situadas en un tiempo específico dentro del horizonte establecido.

En la capa superior se indican las metas de capacidad instalada en el escenario propuesto al 2030. En este sentido existe un consenso general que establece que en el transcurso de la próxima década se tendrá un crecimiento considerable en la capacidad instalada para la producción de biodiésel. Se estima que para el año 2020 se podría duplicar la capacidad instalada actualmente, al pasar de 66 a 136 ML/a; mientras que para el periodo 2020-2030, la capacidad instalada podría crecer hasta alcanzar los 900 ML/a.

En la capa subsecuente se indican impulsores que favorecen el desarrollo del mercado de biodiésel. Los impulsores que se identifican son cuatro:

1. cumplir con los compromisos que ha adquirido el Gobierno Federal en el ámbito internacional;
2. disponer de un combustible alterno que permita reducir la dependencia de combustible fósiles;
3. promover una mayor participación del sector agrícola; y
4. mejorar la calidad de vida de los habitantes de grandes ciudades.

Cabe señalar que la relevancia de los impulsores puede cambiar de un momento a otro, e incluso se pueden incorporar otros que al momento de realización del mapa podrían no haber sido relevantes.

La tercera capa corresponde a la materia prima. En ésta se identifican aquellas que se consideran con mayor potencial de contribución a las metas establecidas y los plazos en los que es factible su explotación. El diagrama indica que la incorporación de diversas materias primas se realizará de manera gradual. En el corto plazo se estima que las grasas y aceites alimenticios de desecho, grasas animales crudas, aceites de cultivos alimenticios (soya, palma y canola) serán las principales materias primas. En el mediano y largo plazo se visualiza que se pueden sumar los aceites de jatropha, higuerilla, microorganismos y material lignocelulósico; cabe señalar que su aprovechamiento depende de tecnologías que aún no están disponibles en el ámbito comercial.

La siguiente capa pertenece a los retos considerados como estratégicos para el crecimiento de la industria. Los retos se ubican en los periodos de tiempo estimados para que su solución genere resultados significativos en relación a obtener un mejor aprovechamiento de la materia prima para producir biodiésel. Los retos que deben atenderse se orientan en general a reducir los costos de adquisición y garantizar la disponibilidad de materia prima; así como a garantizar la calidad del biodiésel y optimizar costos en los procesos de producción, transporte y comercialización del mismo.

En la capa inferior se encuentran las principales líneas de acción que se deben realizar para habilitar el crecimiento de la industria. Las acciones están catalogadas de acuerdo a los siguientes ámbitos: social, económico y regulatorio. La atención a las acciones habilitadoras propuestas favorecerá que se alcancen de manera más rápida las metas establecidas.

En términos generales, la lectura del diagrama debe realizarse en cada capa de la esquina inferior izquierda a la esquina superior derecha. De esta manera, las acciones que requieren de un menor plazo para atender las barreras y retos se sitúan en la parte inferior y aquellas que implican un mayor plazo se localizan en la parte superior.

Conclusiones y acciones siguientes

La industria de biodiésel existe en México desde hace más de una década pero la capacidad instalada es aún incipiente. Pese a que las primeras plantas productoras de volúmenes comerciales iniciaron operaciones hace poco más de 10 años, la industria de biodiésel no ha crecido al ritmo esperado. Los principales retos y barreras que enfrenta hoy en día la industria se muestran de manera consolidada en el presente documento.

La identificación de retos y barreras, así como la serie de acciones propuestas para superarlas, surgen a partir de una serie de talleres en los que participaron especialistas técnicos de los sectores productivos y de la Comunidad de investigación y desarrollo tecnológico, así como representantes de organismos reguladores como la SENER y SAGARPA.

Como resultado de los talleres se visualiza la posibilidad de que para el año 2030 se alcance una capacidad instalada superior a los 900 millones de litros de biodiésel, capacidad equivalente a la construcción de 9 plantas de tamaño industria (de 70 a 100 millones de litros anuales). Con este volumen sería posible abastecer alrededor del 2 % de la demanda proyectada de diésel en el sector transporte para ese año.

La tasa de crecimiento de la oferta de biodiésel está sujeta a la atención de un gran reto, la desventaja en costo en relación al precio de venta del diésel de origen fósil. Hoy en día la mayoría de los productores de biodiésel utilizan aceites gastados de cocina y grasas de origen animal como materia prima por su bajo costo en relación a los aceites provenientes de cultivos energéticos como la palma, soya o higuerilla. No obstante, aun utilizando insumos de desecho, la rentabilidad de esta actividad es marginal.

En este sentido, los retos que se identifican corresponden a condiciones que permitirían reducir los costos de producción, particularmente aquellos relacionados con el costo de la materia prima. De los once retos principales que enfrenta la producción de biodiésel, seis corresponden a retos relacionados con la producción y logística de recolección de la biomasa y los cinco restantes con la producción y logística de comercialización del biodiésel. La proporción de los retos es por sí misma un reflejo de las áreas en las que existe una mayor necesidad de reducción de costos. Los productores de biodiésel reconocen que la materia prima comprende la mayor parte de los costos de producción. Generalmente el costo de la materia prima comprende entre un 80 a 90% del costo total de producción.

Es posible reducir de manera significativa el costo de la materia prima a través de incrementar la productividad de ciertos cultivos energéticos; sin embargo, los volúmenes requeridos por la industria son mucho mayores que los actuales. Es en este punto en el que la industria enfrenta uno de los mayores conflictos. Mientras no exista un mercado estable y lo suficientemente grande para biodiésel, los productores de cultivos energéticos llevan un gran riesgo, pues no existen suficientes condiciones que aseguren el retorno sobre su inversión. En el mismo sentido, las inversiones de los productores de biodiésel llevan el riesgo de no contar con garantías suficientes en el abasto de la materia prima en el costo y volumen necesario para operar plantas con mayor capacidad.

Dicho lo anterior, resulta fundamental que exista una definición a nivel federal de los cultivos que son permitidos para la producción de combustibles. Hoy en día existen opiniones encontradas entre los diferentes actores de la industria en relación a los cultivos que podrían ser utilizados. Mientras no se genere un acuerdo al respecto los esfuerzos técnicos e inversiones de capital seguirán siendo dispersos y no permitirán que la industria crezca con mayor velocidad.

La gran mayoría de las acciones estratégicas sugeridas para atender los principales retos que enfrenta la industria pueden ser atendidas con recursos y capacidades disponibles a nivel nacional. Los recursos humanos, materiales y económicos están disponibles en México, es cuestión de mejorar la coordinación entre todos los actores involucrados (industria, gobierno y comunidad de investigación y desarrollo tecnológico). Al respecto de los actores considerados clave para promover el desarrollo de la industria es importante resaltar que aunque las acciones sugeridas en este mapa de ruta señalan la participación de estos grupos, solo deben considerarse de manera indicativa para orientar la definición de políticas públicas, programas e iniciativas enfocadas a fortalecer, incrementar y/o generar las capacidades tecnológicas necesarias para dar soporte al desarrollo sustentable de la industria en el mediano y largo plazo, incluyendo

infraestructura, recursos humanos especializados, y servicios tecnológicos.

Finalmente, cabe señalar que como resultado de este primer mapa de ruta que se realiza en el tema de biodiésel, la atención a los retos identificados como prioritarios inicia este mismo año. Lo anterior refleja la importancia de iniciar acciones cuanto antes para impulsar el fortalecimiento de la industria de biodiésel en México.

Interrelaciones con otros mapas de ruta

El MRT de biodiésel es uno de los cinco mapas realizados en bioenergía que se realizaron[21] para el FSE; aunque cada uno se realizó de manera independiente presentan aspectos en común que deberán ser analizados posteriormente para identificar sinergias entre las diferentes acciones e iniciativas que se llevan a cabo. Particularmente, los resultados del mapa de ruta de biodiésel señalan retos similares a los presentados en los mapas de bioetanol y bioturbosina en relación a las materias primas y procesos de producción. En los tres casos se plantean retos tecnológicos enfocados en reducir el costo y asegurar el abastecimiento de las materias primas. Los mapas plantean acciones direccionadas a incrementar el rendimiento de cultivos, reducir los costos de recolección y pretratamiento, así como disponer de inventarios de materia prima robustos y actualizados.

Por otra parte, los tres mapas coinciden en que es necesario fortalecer las capacidades nacionales para escalar y adaptar tecnologías para producción de biocombustibles. Las capacidades a reforzar incluyen ámbitos como diseño, ingeniería, procura y construcción de plantas, asistencia técnica y evaluación técnica-económica de proyectos.

En cuanto a las acciones habilitadoras, los cinco mapas presentan coincidencias relacionadas con barreras de tipo regulatorio y económico.

En el ámbito regulatorio, los resultados señalan la necesidad de generar políticas y normatividad encaminadas a promover la producción y uso de biocombustibles de manera sustentable. En el ámbito económico, los diferentes mapas coinciden en proponer acciones habilitadoras tendientes a promover el mercado de biocombustibles y establecer esquemas de financiamiento para proyectos a nivel industrial.

Acciones siguientes

Derivado de la construcción de este primer mapa de ruta resulta importante actuar de manera paralela en diferentes ámbitos. En primer lugar se requiere continuar fomentando mayor interacción entre los actores principales de la industria: SENER, SAGARPA, SEMARNAT, Clúster BDA, productores de cultivos energéticos y productores de biodiésel. La agenda deberá incluir la definición de los cultivos que podrán ser utilizados para la producción de biodiésel, definición de las especificaciones de calidad del biodiésel y sus mezclas, diseño de programas de promoción del uso de biodiésel, y acuerdo sobre los incentivos que podrán ofrecerse a la industria en los próximos años para impulsar su penetración en el mercado de combustibles.

Adicionalmente, resulta importante involucrar a la banca de desarrollo en proyectos de inversión para la generación de combustibles provenientes de fuentes renovables. Indudablemente la industria requiere de programas financieros que reconozcan sus retos particulares, por ello se considera necesario el diseño de programas en colaboración.

En el corto plazo, los productores de biodiésel se podrían ver beneficiados con el impulso al cumplimiento de la Norma NOM-161-SEMARNAT-2011. La SEMARNAT juega un rol importante en este proceso, pues deberá fomentar que las empresas que generen más de 10 toneladas de aceite de residuo lo desechen de manera sustentable. La aplicación de esta norma permitirá una mayor disponibilidad de materia prima para los productores y consecuentemente precios de adquisición menores.

El MRT es un plan que propone acciones concretas que deben ser comunicadas con los diferentes grupos de interés e implementarse. Para ello, es necesario formar un Grupo de Implementación del mapa conformado por representantes de los tres grupos de actores clave: Gobierno, Industria y Comunidad de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación.

Dentro de las funciones de este grupo deberá considerarse el establecimiento de un plan de

[21] Adicional a este mapa de ruta tecnológica se elaboraron los correspondientes a Bioetanol, Bioturbosina, Biocombustibles Sólidos y Biogás.

implementación que considere ciclos de revisión y evaluación de resultados en forma anual. Estos ciclos deben considerar la evaluación de los resultados de los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, así como la evaluación del despliegue de mejoras tecnológicas en la industria. Adicionalmente, se debe de dar seguimiento al avance de las acciones habilitadoras enfocadas a eliminar o disminuir el impacto de las barreras consideradas (o que están siendo atendidas). Para estos ciclos de evaluación es necesario utilizar indicadores y criterios que permitan medir los avances.

Vale la pena señalar que los resultados que se presentan en este mapa de ruta tecnológica responden a las condiciones prevalecientes del contexto en el que se desarrollaron los talleres. Por lo anterior, la vigencia y prioridad de algunas acciones podría haberse modificado o bien, pudieran ya estarse atendiendo. A medida que evolucione la industria se tendrá nueva información para actualizar la visión y premisas que se presentan en este mapa de ruta. De hecho, de acuerdo a las mejores prácticas, es recomendable que el MRT se actualice periódicamente y que se implemente una estrategia de difusión para dar a conocer los resultados de esta iniciativa entre todas las instituciones involucradas en la realización de las acciones estratégicas y habilitadoras para lograr la visión establecida al año 2030.

Referencias

ADVANCED BIOFUELS USA. (2012). *Definition of Advanced Biofuels.* Recuperado el 04 de 2016, de What Are Advanced Biofuels? Part of a Truly Sustainable Renewable Future!: http://advancedbiofuelsusa.info/truly-sustainable-renewable-future/

ASTM International. (2015). *American Society for Testing and Materials.* Obtenido de ASTM D6751-15ce1 Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels: http://dx.doi.org/10.1520/D6751-15CE01

Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M., Masjuki, H. H., & Mekhilef, S. A. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16*(4), 2070-2093.

Australian Government - DITR. (2001). *Technology Planning for Business Competitiveness: A Guide to Developing Technology Roadmaps.* Industry, Science and Resources.

Balat, M. (2011). Potential alternatives to edible oils for biodiesel production – A review of current work. *Energy Conversion and Management, 52*(2), 1479-1992. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2010.10.011

Bart, J. C., Palmeri, N., & Cavallaro, S. (2010). *Biodiesel Science and Technology: From Soil to Oil.* Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Bart, J. C., Palmeri, N., & Cavallaro, S. (2011). *Biodiesel Science and Technology.* CRC Press.

CEN. (2014). *Comité Europeo de Normalización.* Recuperado el 09 de 2016, de Productos petrolíferos líquidos. Ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) para motores diesel y equipos de calefacción. Requisitos y métodos de ensayo.: https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0::::FSP_PROJECT,FSP_ORG_ID:40952,6003&cs=10F56DF425566EEE12AA1FF056F880E17

Cheng, J. J., & Timilsina, G. R. (2011). Status and barriers of advanced biofuel technologies: A review. *Renewable Energy, 36*(12), 3541-3549. doi:10.1016/j.renene.2011.04.031

CONACYT-SENER. (2014). *Téminos de Referencia de la convocatoria de conformación del Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía.*

Coronado, C. R., Carvalho Jr., J. A., & Silveira, J. L. (2009). Biodiesel CO2 emissions: A comparison with the main fuels in the Brazilian market. *Fuel Processing Technology, 90*(2), 204-211.

Dajun , Y., Fengqi , Y., & Snyder, S. W. (2014). Biomass-to-bioenergy and biofuel supply chain optimization: Overview, key issues and challenges. *Computers & Chemical Engineering, 6*(5), 36-56. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2013.11.016.

DOF. (2008). *Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos.*

ECOFYS. (2016). *Diagnóstico de la situación actual del biodiésel en México y escenarios para su aprovechamiento.*

European Biofuels Technology Platform. (07 de 2010). *Strategic Research Agenda 2010 Update Innovation Driving Sustainable Biofuels*. Recuperado el 05 de 2016, de http://www.imp.gda.pl/bioenergy/strategia/eu_biofuel.pdf

European Commission. (2016). *The European Commission's science and knowledge service. Biofuels and bioenergy*. Retrieved from https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/biofuels-and-bioenergy

IEA. (2008). *From 1st to 2nd Generation Biofuel Technologies*. Recuperado el 04 de 2016, de https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/2nd_Biofuel_Gen.pdf

IEA. (2011). *Technology Roadmap: Biofuels for Transport*.

IEA. (2014). *Energy Technology Roadmaps a guide to development and implementation.*

IMP. (2011). *Guía técnica para el desarrollo de mapas de ruta tecnológica (MRT) - Caso PEMEX*. Ciudad de México.

IMP. (2017). *Guía técnica para el desarrollo del mapa de ruta tecnológico de un sector industrial*. Ciudad de México.

Loera-Quezada, M. M., & Olguín, E. J. (2010). Las microalagas oleagiosas como fuente de biodiesel: retos y oportunidades. *Laninoam Biotecnol Amn Algal*, 91-116.

Martínez Valencia, B. B., Zamarripa Colmenero, A., Solís Bonilla, J. L., & López Ángel, L. J. (2011). *Calidad fisicoquímica de insumos bioenergéticos para la producicón de biodiesel en México.*

NREL. (2006). *National renewable Energy Laboratory*. Obtenido de Biodiesel and Other Renewable Diesel Fuels: http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/40419.pdf

Phaal, R. (2001). *T-Plan the fast start to technology roadmapping. Planning your route to success.* . Cambridge UK: University of Cambridge, Institute for Manufacturing.

Rapier, R. (08 de 2014). *Energy Trends Insider*. Recuperado el 05 de 2016, de Global Biofuels Status Update: http://www.energytrendsinsider.com/2014/08/28/global-biofuels-status-update/

SAGARPA-INIFAP. (2011). *Balance energético del cultivo de la higuerilla (Ricinus communis L.) para la producción de biodiésel.*

SAGARPA-SENASICA. (2012). *Información técnica de semilla de Jatropha curcas mexicana para exportación.*

Sandoval, G. (2010). *Biocombustibles Avanzados en México: estado y perspectiva*. Recuperado el http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT2.pdf de 05 de 2016

Santoyo-Castelazo, E., & Azapagic, A. (2014). Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. *Journal of Cleaner Production*, 119-138.

SENER. (2015a). *Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029*. México.

SENER. (2015b). *Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2015-2029*. México DF.

SENER. (2016). *Reporte de Avance de Energías Limpias 2015*. México.

SENER-IMP. (2016a). *Reporte de Inteligencia Tecnológica en Biodiésel*. Ciudad de México: IMP.

SENER-IMP. (2016b). *Diagnóstico Tecnológico del Clúster Biodiésel Avanzado del CEMIE Bio*. Ciudad de México.

SENER-IMP. (2017). *Cartera de Necesidades de Innovación y Desarrollo Tecnológico - Biodiésel*. Ciudad de México.

Stoytcheva, M., & Montero, G. (2011). *Biodiesel- Feedstocks and Processing Technologies*. Croacia: InTech.

Tabatabaei, M., Karimi, K., Horvaláh, I. S., & Kumar, R. (2015). Recent trends in biodiesel production. *Biofuel Research Journal*, 258-267.

US DOE. (05 de 2010). *National Algal Bioufuel Tecnology Roadmap*. Recuperado el 05 de 2016

US DOE. (2017). *Argonne National Laboratory GREET Model*. Obtenido de Bioenergy, Analytical Tools: https://greet.es.anl.gov/index.php?content=greetdotnet

Yousuf, A. (2012). Biodiesel from lignocellulosic biomass – Prospects and challenges. *Waste Management, 32*(11), 2061-2067. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.008

Zhang, C., Hui, X., Lin, Y., & Sung, C.-J. (2016). Recent development in studies of alternative jet fuel combustion: Progress, challenges, and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54*, 120-138. doi:ttp://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.056.

2017

SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS