

# MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS



**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

### CENTRO MEXICANO DE INNOVACIÓN EN BIOENERGÍA – CLÚSTER BIOCOMBUSTIBLES GASEOSOS

**Elías Razo Flores**

Responsable Técnico del Clúster Biocombustibles Gaseosos

**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

**Ricardo Ortiz Eleveño**

Especialista

**Gabriela Matzallani Gómez Alvarado**

Especialista

**Agustín González Ortiz**

Consultor externo

# MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

## ÍNDICE

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Agradecimientos</b>                                                             | 10 |
| <b>Introducción</b>                                                                | 12 |
| <b>Metodología general para la integración del mapa de ruta</b>                    | 14 |
| <b>Generalidades de la industria de biogás en México</b>                           | 17 |
| <b>Visión al 2030</b>                                                              | 29 |
| <b>Implementación de la visión</b>                                                 | 32 |
| I. Acciones estratégicas: retos tecnológicos                                       | 32 |
| I. a Colecta de materia prima                                                      | 33 |
| I. b Pretratamiento                                                                | 36 |
| I. c Conversión                                                                    | 40 |
| I. d Acondicionamiento                                                             | 49 |
| II. Acciones habilitadoras para fortalecer el desarrollo de la industria: barreras | 52 |
| II. a Ámbito regulatorio                                                           | 52 |
| II. b Ámbito económico                                                             | 54 |
| II. c Recursos humanos                                                             | 58 |
| II. d Ámbito social                                                                | 60 |
| <b>Diagrama</b>                                                                    | 63 |
| <b>Conclusiones y acciones siguientes</b>                                          | 64 |
| <b>Referencias</b>                                                                 | 67 |

# MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Etapas generales de integración del mapa de ruta de biogás.                                                                 | 14 |
| Figura 2. Cadena de valor de producción de biogás                                                                                     | 18 |
| Figura 3. Clasificación de la Biomasa                                                                                                 | 20 |
| Figura 4. Distribución de fuentes potenciales de producción de biogás en el sector porcícola                                          | 23 |
| Figura 5. Distribución de fuentes potenciales para la producción de biogás en el sector ganadero bovino                               | 23 |
| Figura 6. Distribución de fuentes potenciales de producción de biogás a partir de rellenos sanitarios                                 | 24 |
| Figura 7. Distribución de fuentes potenciales para la producción de biogás provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales | 24 |
| Figura 8. Visión al 2030 para producción de biogás                                                                                    | 31 |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfica 1. Evolución de la capacidad de producción de energía eléctrica a partir de biogás en México (2004-2015) | 25 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Composición química del biogás                                                                                                                          | 17 |
| Tabla 2. Comparación de parámetros técnicos entre el gas natural y el biogás                                                                                     | 17 |
| Tabla 3. Plantas generadoras de biogás en México                                                                                                                 | 26 |
| Tabla 4. Contribución por estado en la generación de energía eléctrica a partir de biogás                                                                        | 26 |
| Tabla 5. Escenarios de evolución de la producción de biogás en términos de biometano equivalente en México                                                       | 30 |
| Tabla 6. Retos identificados para el desarrollo de la industria de biogás hacia el 2030                                                                          | 33 |
| Tabla 7. Disponibilidad de materia prima para la producción de biogás                                                                                            | 34 |
| Tabla 8. Retos relacionados con la etapa colecta y logística                                                                                                     | 34 |
| Tabla 9. Acciones sugeridas para implementar una estrategia nacional de manejo de residuos orgánicos (biomasa residual)                                          | 35 |
| Tabla 10. Retos relacionados con la etapa de pretratamiento                                                                                                      | 37 |
| Tabla 11. Acciones sugeridas para adaptar y mejorar tecnologías de pretratamiento a partir de biomasa lignocelulósica                                            | 38 |
| Tabla 12. Acciones sugeridas para adaptar y mejorar tecnologías de pretratamiento a partir de biomasa proveniente de residuos sólidos urbanos y agroindustriales | 39 |
| Tabla 13. Acciones sugeridas para desarrollar e implementar sistemas de monitoreo y control para los procesos de pretratamiento                                  | 40 |
| Tabla 14. Retos relacionados con la etapa de conversión                                                                                                          | 41 |
| Tabla 15. Acciones sugeridas para desarrollar un catálogo de tecnologías de biogás aplicables a nivel nacional                                                   | 42 |
| Tabla 16. Acciones sugeridas para diseñar e implementar un programa para la instalación de plantas de biogás en diferentes ciudades del país                     | 43 |
| Tabla 17. Acciones sugeridas para mejorar las especificaciones nacionales de diseño, construcción y operación de digestores y plantas de digestión anaerobia     | 44 |

# MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 18. Acciones sugeridas para desarrollar e implementar sistemas de monitoreo y control automático para mantener un proceso de producción de biogás estable y robusto                 | 45 |
| Tabla 19. Acciones sugeridas para desarrollar un sistema de monitoreo nacional del desempeño de plantas de biogás                                                                         | 46 |
| Tabla 20. Acciones sugeridas para mejorar la calidad de los co-productos de la producción de biogás para su uso y disposición                                                             | 47 |
| Tabla 21. Acciones sugeridas para desarrollar e implementar sistemas de monitoreo, reporte y verificación para los proyectos de producción de biogás                                      | 49 |
| Tabla 22. Retos relacionados con la etapa de acondicionamiento                                                                                                                            | 50 |
| Tabla 23. Acciones sugeridas para desarrollar, adecuar e integrar tecnologías para el acondicionamiento del biogás a biometano                                                            | 50 |
| Tabla 24. Actividades sugeridas para promover la cooperación entre los generadores de residuos para concentrar y mejorar la calidad de la materia prima para la producción de biogás      | 53 |
| Tabla 25. Actividades sugeridas para desarrollar normas nacionales para regular la producción y manejo de biogás o adecuar aquellas que son aplicables al metano                          | 54 |
| Tabla 26. Actividades sugeridas para desarrollar una estrategia interinstitucional orientada a difundir los esquemas de financiamiento disponibles para proyectos de producción de biogás | 55 |
| Tabla 27. Actividades sugeridas para mejorar el aprovechamiento de co-productos en la producción de biogás                                                                                | 56 |
| Tabla 28. Actividades sugeridas para impulsar el desarrollo del mercado de biometano                                                                                                      | 57 |
| Tabla 29. Actividades sugeridas para conformar grupos de especialistas interdisciplinarios que participen en el desarrollo de proyectos de producción de biogás y biometano               | 58 |
| Tabla 30. Actividades sugeridas para fomentar el desarrollo de recursos humanos especializados                                                                                            | 59 |
| Tabla 31. Actividades sugeridas para fomentar la sensibilidad hacia el problema ambiental que ocasiona no disponer los residuos adecuadamente                                             | 60 |
| Tabla 32. Actividades sugeridas para promover los beneficios sociales del aprovechamiento del biogás                                                                                      | 61 |
| Tabla 33. Actividades sugeridas para fortalecer los vínculos entre la comunidad de investigación y los sectores industriales                                                              | 62 |

## ÍNDICE DE IMAGENES

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Imagen 1. Caldera operada con biogás                                                         | 22 |
| Imagen 2. Ganado vacuno                                                                      | 23 |
| Imagen 3. PTAR los ITZiCUaros, Michuacan                                                     | 24 |
| Imagen 4. Producción de biogas en el IINGEN                                                  | 27 |
| Imagen 5. Planta de producción de biogás                                                     | 29 |
| Imagen 6. Panorámica de Planta de biogás                                                     | 31 |
| Imagen 7. Residuos orgánicos                                                                 | 36 |
| Imagen 8. Material lignocelulósico residual                                                  | 38 |
| Imagen 9. Biodigestor anaerobio                                                              | 42 |
| Imagen 10. Planta de biogás ubicada en milpa alta, ciudad de México.                         | 45 |
| Imagen 11. Planta de digestión anaerobia                                                     | 46 |
| Imagen 12. Planta Piloto de Digestion Anaerobia a partir de Vinazas Tequileras de CUCEI-UdeG | 48 |

# MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

## Abreviaturas y acrónimos

|                  |                                                                                                             |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ADE</b>       | Agencia Danesa de Energía                                                                                   |
| <b>AMBB</b>      | Asociación Mexicana de Biomasa y Biogás                                                                     |
| <b>BANOBRAS</b>  | Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos                                                                |
| <b>CBG</b>       | Clúster Biocombustibles Gaseosos                                                                            |
| <b>CEMIE-Bio</b> | Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía                                                                 |
| <b>CFE</b>       | Comisión Federal de Electricidad                                                                            |
| <b>CoIDT+i</b>   | Comunidad de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación                                             |
| <b>CONACYT</b>   | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología                                                                    |
| <b>CONAGUA</b>   | Comisión Nacional del Agua                                                                                  |
| <b>CONOCER</b>   | Consejo Nacional De Normalización y Certificación de Competencias Laborales                                 |
| <b>CRE</b>       | Comisión Reguladora de Energía                                                                              |
| <b>CUCEI</b>     | Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (Universidad de Guadalajara)                         |
| <b>DOF</b>       | Diario oficial de la federación                                                                             |
| <b>EMA</b>       | Entidad Mexicana de Acreditación, A.C.                                                                      |
| <b>FIRCO</b>     | Fideicomiso de riesgo compartido                                                                            |
| <b>FQ-UNAM</b>   | Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México                                           |
| <b>FSE</b>       | Fondo Sectorial CONACYT - Secretaría de Energía - Sustentabilidad Energética                                |
| <b>GEI</b>       | Gases de efecto invernadero                                                                                 |
| <b>GiZ</b>       | Agencia de Cooperación Internacional Alemana                                                                |
| <b>I&amp;D</b>   | Investigación y Desarrollo                                                                                  |
| <b>IEA</b>       | Agencia Internacional de Energía                                                                            |
| <b>IER</b>       | Instituto de Energías Renovables                                                                            |
| <b>IIES</b>      | Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México |
| <b>IINGEN</b>    | Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México                                       |
| <b>IMP</b>       | Instituto Mexicano del Petróleo                                                                             |
| <b>IMTA</b>      | Instituto Mexicano de Tecnología del Agua                                                                   |
| <b>INERE</b>     | Inventario Nacional de Energías Renovables                                                                  |
| <b>INIFAP</b>    | Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias                                     |
| <b>INSP</b>      | Instituto Nacional de Salud Pública                                                                         |
| <b>IPICYT</b>    | Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.                                           |
| <b>IT</b>        | Inteligencia Tecnológica                                                                                    |
| <b>LAERFTE</b>   | Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética      |
| <b>LPDB</b>      | Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos                                                         |
| <b>LTE</b>       | Ley de Transición Energética                                                                                |
| <b>mdp</b>       | Millones de pesos                                                                                           |
| <b>MRV</b>       | Medición, reporte y verificación                                                                            |
| <b>MDL</b>       | Mecanismo de desarrollo limpio                                                                              |
| <b>NAMAs</b>     | Nationally Appropriate Mitigation Actions                                                                   |
| <b>ONG</b>       | Organización no gubernamental                                                                               |
| <b>PEMEX</b>     | Petróleos Mexicanos                                                                                         |

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

---

|                 |                                                                                     |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PTAR</b>     | <i>Planta de tratamiento de aguas residuales</i>                                    |
| <b>REMBIO</b>   | <i>Red Mexicana de Bioenergía</i>                                                   |
| <b>RO</b>       | <i>Residuos orgánicos</i>                                                           |
| <b>RSU</b>      | <i>Residuos sólidos urbanos</i>                                                     |
| <b>RU</b>       | <i>Residuos urbanos</i>                                                             |
| <b>SAGARPA</b>  | <i>Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación</i> |
| <b>SE</b>       | <i>Secretaría de Economía</i>                                                       |
| <b>SEMARNAT</b> | <i>Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales</i>                            |
| <b>SENER</b>    | <i>Secretaría de Energía.</i>                                                       |
| <b>SHCP</b>     | <i>Secretaría de Hacienda y Crédito Público</i>                                     |
| <b>STPS</b>     | <i>Secretaría de Trabajo y Previsión Social</i>                                     |
| <b>UAEMex</b>   | <i>Universidad Autónoma del Estado de México</i>                                    |
| <b>UAM-C</b>    | <i>Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa</i>                                |
| <b>UAM-I</b>    | <i>Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa</i>                                |
| <b>UNAM</b>     | <i>Universidad Nacional Autónoma de México</i>                                      |

# MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

## 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 (IMP) realizó para el Fondo de Sustentabilidad Energética (FSE).

Agradecemos a la Secretaría de Energía por su liderazgo, coordinación y por todo el apoyo brindado para la realización de esta iniciativa sin precedente en el país. Especialmente, damos las gracias a todos los asistentes a los talleres, cuya participación activa y entusiasta permitió obtener una visión compartida de los principales retos y barreras que enfrenta la industria.

Una parte fundamental para el logro de los objetivos de la iniciativa fue la asistencia de expertos provenientes de la industria, quienes compartieron su visión de las barreras y

necesidades que enfrenta la producción de biogás a nivel nacional.

Hacemos también un reconocimiento a los expertos de la Asociación Mexicana de Biomasa y Biogás, Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), y del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) por el tiempo que le dedicaron a los talleres y por sus contribuciones que sin duda favorecerán en la solución de las barreras para la producción de biogás/biometano.

Finalmente, expresamos nuestro agradecimiento al Dr. Luc Pelkmans, Coordinador Técnico del Programa de Colaboración en Bioenergía de la Agencia Internacional de Energía, por compartir su experiencia y conocimiento de la industria de biogás durante el desarrollo de los talleres.

Asistentes a los talleres de generación del mapa de ruta tecnológica de biogás.

*Mtro. Sergio Gasca Álvarez*

*Ing. Edgar Navarrete Escobar*

*Dr. Elías Razo Flores*

*Dr. Felipe Alatríste Mondragón*

*Dra. Ma. de Lourdes Berenice Celis García*

*Mtro. Daniel Barrón Pastor*

*Dr. Fernando Orejel Pajarito*

*Dr. Hugo Oscar Méndez Acosta*

*Dr. Bernd Weber*

*Dr. Sergio Revah Moiseev*

*Dr. Óscar A. Monroy Hermosillo*

*Dr. Alfonso Durán Moreno*

*Dr. Germán Buitrón Méndez*

*M. I. César G. Calderón Mólgora*

*Dra. Gabriela Mantilla Morales*

*Dra. Elizabeth Mar Juárez*

*Dr. Jorge A. Aburto Anell*

*Ing. Álvaro Zurita Marcus*

*Lic. Karen Martínez*

*M. en C. Gabriela Baeza*

*Ing. Evick Daza Vázquez*

*Ing. Víctor de la Cruz Bautista*

*Mtro. Abel Clemente Reyes*

*Secretaría de Energía*

*Secretaría de Energía*

*CEMIE-Bio, Clúster Biocombustibles Gaseosos -IPICYT*

*CEMIE-Bio, Clúster Biocombustibles Gaseosos -IPICYT*

*CEMIE-Bio, Clúster Biocombustibles Gaseosos -IPICYT*

*CEMIE-Bio, Clúster Biocombustibles Gaseosos -IPICYT*

*CEMIE-Bio, Clúster Biocombustibles Gaseosos -IPICYT*

*CEMIE-Bio, Clúster Biocombustibles Gaseosos - CUCEI*

*CEMIE-Bio, Clúster Biocombustibles Gaseosos - UAEMex*

*CEMIE-Bio, Clúster Biocombustibles Gaseosos - UAM-C*

*CEMIE-Bio, Clúster Biocombustibles Gaseosos - UAM-I*

*CEMIE-Bio, Clúster Biocombustibles Gaseosos -FQ-UNAM*

*CEMIE-Bio, Clúster Biocombustibles Gaseosos -IINGEN-UNAM*

*Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*

*Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*

*Instituto Mexicano del Petróleo*

*Instituto Mexicano del Petróleo*

*Cooperación Alemana al Desarrollo en México – GiZ*

*Cooperación Alemana al Desarrollo en México – GiZ*

*Cooperación Alemana al Desarrollo en México – GiZ*

*Comisión Federal de Electricidad*

*Comisión Federal de Electricidad*

*Asociación Mexicana de Biomasa y Biogás*

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

---

*Ing. Ricardo Estradas Romero*

*Ing. Javier Ramos Franco*

*Ing. Alfredo Ruiz Ayala*

*Lic. Roberto Dueñas García*

*Lic. Miriam Macías Solís*

Asociación Mexicana de Biomasa y Biogás

ECOTEC

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

Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos

Fideicomiso de Riesgo Compartido

## Introducción

A nivel mundial se puede considerar que la seguridad energética y la mitigación del cambio climático son dos de los principales impulsores de la transformación del sistema de energía: de una economía basada en fuentes de energía fósil a fuentes renovables.

De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía, la energía proveniente de fuentes renovables constituye una parte creciente del consumo de energía primaria. Lo anterior es consecuencia, entre otras cosas, del apoyo que han otorgado los diferentes gobiernos para su producción y uso, la reducción de los costos para su aprovechamiento y los compromisos firmados por diversos países para reducir las emisiones de dióxido de carbono.

México no es ajeno a este contexto. En la última década se han intensificado las acciones que el Gobierno Federal realiza para impulsar el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía disponibles en el país.

La Secretaría de Energía (SENER) en conjunto con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) han establecido el Fondo Sectorial CONACYT - SENER - Sustentabilidad Energética (FSE) cuyo propósito es financiar iniciativas y programas para promover el diseño e implementación de proyectos para el aprovechamiento sustentable de diversas fuentes de energía renovable.

Una de las iniciativas, considerada como estratégica para el FSE, es la creación de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIEs), cuyo propósito fundamental es coordinar de manera efectiva el desarrollo de proyectos que permitan aprovechar el potencial de energía renovable del que dispone el país. Cada uno de los centros se enfoca en diferentes fuentes de energía, como son geotermia, solar, eólica, energía del océano y bioenergía.

Dentro de los cinco centros que se han conformado, se encuentra el CEMIE-Bio cuyo enfoque es el aprovechamiento de la energía proveniente de la biomasa. A su vez, este centro se conforma por cinco clústers los cuales se enfocan el estudio de biocombustibles para el transporte y

para generación térmica y eléctrica (CONACYT & SENER, 2014). Cada clúster está enfocado en un combustible diferente: biocombustibles sólidos, bioalcoholes, biodiésel, bioturbosina y biogás.

Otra iniciativa es la elaboración de los mapas de ruta tecnológicos al 2030 para impulsar el aprovechamiento de diversas fuentes de energía renovable en México; iniciativa que da origen al presente documento. Con el 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 los biocombustibles.

En este documento se presentan los resultados de la elaboración del primer mapa de ruta que se realiza a nivel nacional para impulsar el aprovechamiento del combustible gaseoso producido a partir de biomasa, comúnmente conocido como biogás. En este mapa de ruta se exploran los retos y barreras que enfrenta el país para la producción y acondicionamiento de biogás<sup>1</sup>. Si bien la definición del uso final, o mercados, para el biogás es una parte importante en los procesos de generación de mapas de ruta tecnológica, en este mapa el Grupo Consultivo acordó excluir del alcance la definición del uso final del mismo debido a que la madurez de esta industria en México es aún incipiente.

### Propósito del mapa de ruta

El propósito general del mapa de ruta en biogás es identificar los retos y las barreras que enfrenta el país para impulsar la penetración del biogás como fuente de energía. Para cada una de los retos y barreras identificados se establecen una serie de acciones propuestas para su atención. En particular, se busca que el mapa de ruta sirva de base para indicar las acciones necesarias para generar y fortalecer la infraestructura, recursos humanos, oferta de servicios, alianzas, tecnologías, entre otros, que son fundamentales para impulsar la producción sostenible de biogás en México.

En este mapa de ruta se plantea una visión al 2030 en la que se alcanzará una capacidad instalada de

<sup>1</sup> El biogás en esencia está compuesto por metano y bióxido de carbono y dependiendo de la proporción de éstos elementos en

el gas se le puede llamar de otra manera. El biometano es un gas cuyo contenido de metano es superior al 80%, el cual se obtiene a partir de la purificación del biogás.

biometano equivalente en el rango de 200 a 250 millones de m<sup>3</sup> al año<sup>2</sup>. Esta visión se estableció a partir de una serie de talleres realizados en marzo de 2017 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 y aprovechamiento del biogás.

Para la orientación de la generación de la visión de este mapa de ruta, se consultaron diversos documentos oficiales publicados por diferentes dependencias, entre los que se encuentran las estimaciones elaboradas por la Dirección de Bioenergéticos de la SENER, el Reporte de Avance de Energías Limpias 2016 (SENER, 2017) y el Diagnóstico general de la situación actual de los sistemas de biodigestión en México (FIRCO, 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 biogás.

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 en la producción de biogás 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.

### Estructura y contenido del reporte

Este documento está conformado por siete 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 biogás 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 biogás. Finalmente, los dos últimos capítulos, están enfocados en describir la estructura y contenido del MRT, así como las conclusiones y acciones siguientes respectivamente.

<sup>2</sup> Las metas de biogás están definidas en términos de biometano equivalente, debido a que el factor de conversión del volumen de biogás requerido para generar energía eléctrica es variable ya que

depende de su composición y ésta es a su vez función de la materia prima utilizada.

## 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, promueven 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 la 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):

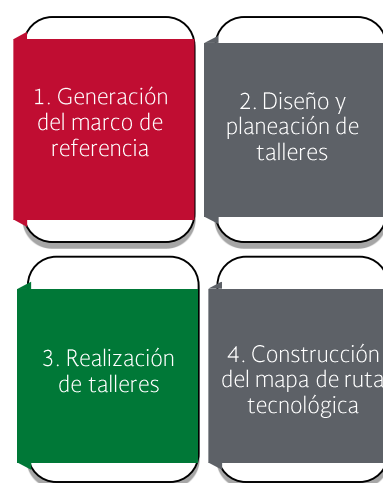
1. Método basado en la experiencia de expertos.
2. Método de talleres basados en discusiones dirigidas.
3. Método basado en trabajo de escritorio.

En el caso del MRT de biogás, 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 del biocombustible, 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; IEA; FAO, 2017) y la Universidad de Cambridge (Phaal *et al.*, 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 DE INTEGRACIÓN DEL MAPA DE RUTA DE BIOGÁS.**



FUENTE: elaboración propia.

### 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 biogás. En esta etapa se generaron dos reportes que constituyeron, posteriormente, el insumo fundamental para la definición del enfoque y la estructura del mapa de ruta. El primero corresponde al Reporte de Inteligencia Tecnológica en Biogás (SENER-IMP, 2017) en el que se documentaron los retos técnicos y el estado general de desarrollo de las tecnologías clave para su producción; el segundo, corresponde

# MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

al Diagnóstico de la Gestión de la Innovación del Clúster Biocombustibles Gaseosos del CEMIE Bio (SENER-IMP, 2017), 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 y alcance 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 estructura de la industria y mayores elementos para diseñar los talleres. El enfoque, alcance y estructura del mapa se estableció a partir del nivel del desarrollo de la industria en México.

Además se formó un Grupo Consultivo cuyas funciones en esta etapa fueron aprobar el diseño, alcances y lista de invitados a los talleres, quienes 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 marzo de 2017 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, industria y órganos reguladores.

Las instituciones representadas en los talleres se indican a continuación.

|                                                                                                                                       |                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Clúster Biocombustibles Gaseosos</li></ul>                                                    | <ul style="list-style-type: none"><li>• Secretaría de Energía</li></ul>                                                        |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.</li></ul>                   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Comisión Federal de Electricidad</li></ul>                                             |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Universidad Nacional Autónoma de México</li></ul>                                             | <ul style="list-style-type: none"><li>• Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación</li></ul> |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Universidad Autónoma Metropolitana</li></ul>                                                  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Fideicomiso de Riesgo Compartido</li></ul>                                             |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Universidad Autónoma del Estado de México</li></ul>                                           | <ul style="list-style-type: none"><li>• Instituto Mexicano de Tecnología del Agua</li></ul>                                    |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (Universidad de Guadalajara)</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Asociación Mexicana de Biomasa y Biogás</li></ul>                                      |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Instituto Mexicano del Petróleo</li></ul>                                                     | <ul style="list-style-type: none"><li>• Agencia Alemana de Cooperación al Desarrollo en México (GIZ)</li></ul>                 |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos</li></ul>                                        | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ecotecnología AL (ECOTEC)</li></ul>                                                    |

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.

## 4. Construcción del mapa

La información colectada durante los talleres fue documentada 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. 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 cuyo objetivo es ofrecer información base para generar iniciativas de proyectos específicos (SENER-IMP, 2017).

### Fuentes de información consultadas

Las fuentes de información utilizadas para la construcción del mapa incluyen documentos oficiales publicados por SENER y SAGARPA 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 2016-2030 (SENER, 2016), Reporte de Avance de Energías Limpias 2016 (SENER, 2017), el Diagnóstico de la situación actual del biogás en México y escenarios para su aprovechamiento (FIRCO, 2011) y Producción de biogás en México: estado actual y perspectivas (REMBIO, 2012).

### 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, CONACYT y Clúster BCG. 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 biogás; 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 biogás en México. Durante los talleres se indicaron 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 a la dinámica del sector energético en México, 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 que se establecen en las acciones sugeridas presentadas 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, enfocadas 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.

## Generalidades de la industria de biogás en México

### Generalidades del biogás

En esta sección se presentan de forma general las propiedades, materias primas empleadas para su producción, etapas involucradas en el proceso de conversión y finalmente los beneficios que genera a la sociedad y medio ambiente el biogás.

De acuerdo al Programa Especial para El Aprovechamiento de Energías Renovables 2013-2018 del Gobierno de la Republica, (2014), el Biogás se define como gas que se produce por la conversión biológica de la biomasa como resultado de su descomposición. En el ámbito técnico el biogás es definido como gas producido por la digestión anaerobia de diferentes formas de la materia orgánica y se compone principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

### Especificaciones

A continuación se presentan las principales propiedades del biogás:

El biogás se compone principalmente de metano (50 al 75%), dióxido de carbono (25 al 45%), y vapor de agua (2 al 7%). Adicionalmente puede contener nitrógeno (<2%), oxígeno (<2%) y sulfuro de hidrógeno (<2%), así como trazas de monóxido de carbono y amoníaco (Tabla 1).

**TABLA 1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BIOGÁS**

| Composición                                | % en volumen |
|--------------------------------------------|--------------|
| Metano, $\text{CH}_4$                      | 50 – 75      |
| Dióxido de Carbono, $\text{CO}_2$          | 25 – 45      |
| Vapor de agua, $\text{H}_2\text{O}$        | 2-7          |
| Nitrógeno, $\text{N}_2$                    | < 2          |
| Oxígeno, $\text{O}_2$                      | <2           |
| Sulfuro de hidrógeno, $\text{H}_2\text{S}$ | <2           |
| Monóxido de carbono, $\text{CO}$           | Trazas       |
| Amoníaco, $\text{NH}_3$                    | Trazas       |

FUENTE: elaboración propia con datos reportados en la literatura

El poder calorífico y características fisicoquímicas del biogás generalmente dependen de las condiciones y composición de la biomasa que da origen a su generación. La Tabla 2 muestra un comparativo de parámetros técnicos entre el gas natural y el biogás generado por dos procesos diferentes.

**TABLA 2. COMPARACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS ENTRE EL GAS NATURAL Y EL BIOGÁS**

| Combustible<br>Parámetro                                                              | Gas natural          | Biogás (Digestor) | Biogás (Relleno sanitario) |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------------|
| Poder calorífico inferior kWh/m <sup>3</sup> , (MJ/m <sup>3</sup> )                   | 9.3 – 10.8<br>(36.2) | 5 – 7.5<br>(22.5) | 4.5 – 5.5<br>(18)          |
| Número de metano                                                                      | 70- 94               | 124 -150          | 13 – 6                     |
| Metano ( $\text{CH}_4$ / 100 m <sup>3</sup> )                                         | 84 – 98              | 45 -75            | 45 – 55                    |
| Dióxido de carbono (m <sup>3</sup> $\text{CO}_2$ /100 m <sup>3</sup> )                | <2                   | 25 – 55           | 25 – 30                    |
| Nitrógeno (m <sup>3</sup> $\text{N}_2$ /100 m <sup>3</sup> )                          | <10                  | <5                | <25                        |
| Oxígeno (m <sup>3</sup> $\text{O}_2$ /100 m <sup>3</sup> )                            | <3                   | <2                | <5                         |
| Requerimiento teórico de aire para combustión (m <sup>3</sup> Biogás/m <sup>3</sup> ) | 9.5                  | 6.6               | 6                          |

Fuente: Dublein (2008).

El poder calorífico del biogás es determinado por la proporción del metano en el gas generado por la descomposición de la biomasa. Se estima que una concentración de metano del 40% equivale a un poder calorífico de 14.3 MJ/m<sup>3</sup> y de 28.6 MJ/m<sup>3</sup> cuando la concentración de metano es aproximada del 80%.

### Cadena de valor de la producción de biogás

En la producción de biogás se pueden distinguir cuatro etapas: recolección de materia prima, pretratamiento, conversión y acondicionamiento (Ver Figura2).

**Colecta de materia prima.** La etapa de colecta de materia prima comprende desde la identificación de la localización y caracterización de los desechos orgánicos disponibles hasta la sistematización de su recolección y almacenamiento.

**Pretratamiento.** Una vez que la materia prima se encuentra concentrada en los sitios de almacenamiento, es necesario eliminar la presencia de impurezas tales como: tierra, piedras, plásticos, metales y otros similares que pueden reducir la velocidad del proceso de conversión. Adicionalmente, a fin de incrementar la velocidad y rendimiento de la conversión, se pueden llevar a cabo otros procesos de pretratamiento, los cuales se clasifican en cuatro tipos: físico, químico, térmico y biológico.

**Pretratamiento físico.** Los métodos físicos tienen el objetivo de reducir el tamaño de partícula, aumentando así la superficie específica del material. Dentro de esta gama de pretratamientos

encontramos: la desintegración, tritución, moliendo y picado o rebanado de biomasa.

**Pretratamiento químico.** El pretratamiento químico se aplica para romper las macromoléculas poco degradables mediante la adición de compuestos ácidos o alcalinos, o bien a través de otros métodos como es la ozonización. Dentro de los compuestos ácidos comúnmente empleados están los ácidos clorhídrico y sulfúrico. Por otra parte, dentro de los compuestos alcalinos comúnmente usados están los hidróxidos de sodio y de potasio.

**Pretratamientos térmicos.** La aplicación de los pretratamientos térmicos tiene un doble objetivo. Por una parte, se busca facilitar la degradación de algunas macromoléculas y solubilizar la materia orgánica; por otra parte, y dependiendo de la temperatura y el tiempo de almacenamiento, higienizar la materia orgánica para reducir o eliminar microorganismos indeseables.

**Pretratamientos biológicos.** Con los pretratamientos biológicos se consigue la degradación de determinados compuestos por medio de la inoculación de bacterias específicas o la adición de enzimas. Dentro de métodos biológicos aplicados encontramos el ensilado, el cual se trata de una fermentación ácido-láctica, aunque de tipo inespecífico. El objetivo principal del ensilado es la conservación del material, ya que normalmente se aplica a sustratos vegetales que se cosechan una o dos veces al año. No obstante, en algunos casos se consigue también un aumento de la productividad de biogás puesto que durante el proceso de ensilado se produce un proceso de hidrólisis de macromoléculas.

FIGURA 2. CADENA DE VALOR DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS



FUENTE: elaboración propia con información identificada en la industria.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

**Conversión.** El conocimiento y aprovechamiento de los procesos naturales de producción de biogás han permitido mejorar la conversión de materia orgánica compleja. El proceso de conversión más común que da origen al biogás se conoce como digestión anaerobia. La conversión es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar, como por la cantidad de grupo de bacterias involucradas en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. El proceso de degradación de la materia orgánica se divide en cuatro etapas:

*Etapas de hidrólisis.* La hidrólisis consiste en una transformación controlada por enzimas extracelulares en la que las moléculas orgánicas complejas y no disueltas se rompen en compuestos susceptibles de emplearse como fuente de materia y energía para los microorganismos.

*Etapas fermentativa o acidogénica.* La segunda etapa, controlada por bacterias, consiste en la transformación de los compuestos formados en la primera etapa en otros compuestos de peso molecular intermedio; como por ejemplo dióxido de carbono, hidrógeno, ácidos y alcoholes alifáticos, metilamina, amoníaco y sulfhídrico.

*Etapas acetogénica.* En la etapa de acetogénesis, los ácidos y alcoholes que provienen de la acidogénesis se van transformando por la acción de bacterias en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

*Etapas metanogénica.* La metanogénesis es la última etapa del proceso y consiste en la transformación microbiana del ácido acético y del ácido fórmico en dióxido de carbono y metano. Los microorganismos responsables del proceso son anaerobios estrictos, distinguiéndose dos tipos: los que degradan el ácido acético y dióxido de carbono (*arqueas metanogénicas acetoclásticas*), y los que reducen el dióxido de carbono con hidrógeno a metano (*arqueas metanogénicas hidrogenotróficas*).

**Acondicionamiento.** El biogás, tal como sale del proceso de digestión anaerobia, requiere de un acondicionamiento y éste dependerá del uso final que se le dará al biogás. Para acondicionar el biogás a biometano se requiere eliminar de la corriente prácticamente todos los componentes diferentes al metano, incluyendo agua, bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y siloxanos.

La etapa de acondicionamiento comprende dos niveles de limpieza. En el primer nivel se elimina el vapor de agua y partículas de la corriente de biogás. La remoción de estos contaminantes se realiza por procesos físicos simples. En un segundo nivel de limpieza se utilizan procesos físicos y químicos para eliminar compuestos que reducen el poder calorífico y calidad de la corriente de gas resultante del proceso de conversión.

En este segundo nivel de limpieza se llevan a cabo dos procesos de tratamiento. El primer tratamiento es la remoción del dióxido de carbono, lo que permite alcanzar un poder calorífico de entre 36 y 43 MJ/kg. La eliminación de bióxido de carbono se puede realizar por diversos procesos ampliamente conocidos en la industria como son métodos de adsorción física y química, separación por membranas y por separación criogénica por citar los más relevantes.

El segundo tratamiento es quizá el más importante y tiene que ver con la eliminación de compuestos en porciones menores como el nitrógeno y oxígeno, siloxanos y sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ). La eliminación de éstos compuestos generalmente se realiza por medio de membranas o bien por procesos de oxidación.

El mayor problema de la utilización de biogás se debe a la presencia del sulfuro de hidrógeno, es por ello que incluso se han explorado tecnologías para su eliminación durante el proceso de conversión. La desulfuración dentro del digestor es la más económica entre las opciones de proceso. Uno de los métodos más comunes es el uso de microorganismos. Los microorganismos oxidantes del sulfuro de hidrógeno son dispersados en la superficie de la fase líquida del digestor. La corriente de biogás resultante contiene una cantidad muy reducida de sulfuro de hidrógeno.

### Materias primas

El biogás puede producirse a partir de biomasa y materiales de desecho, independientemente de su composición y contenidos de humedad (aunque un contenido de humedad menor del 5% en la materia reduce el rendimiento de biogás). La biomasa para la producción de biogás puede clasificarse en diferentes tipos. La Secretaría de Energía y la Comisión Federal de Electricidad clasifican la biomasa en seis grandes grupos: residuos agrícolas y forestales, residuos industriales, residuos urbanos, residuos pecuarios, cultivos

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

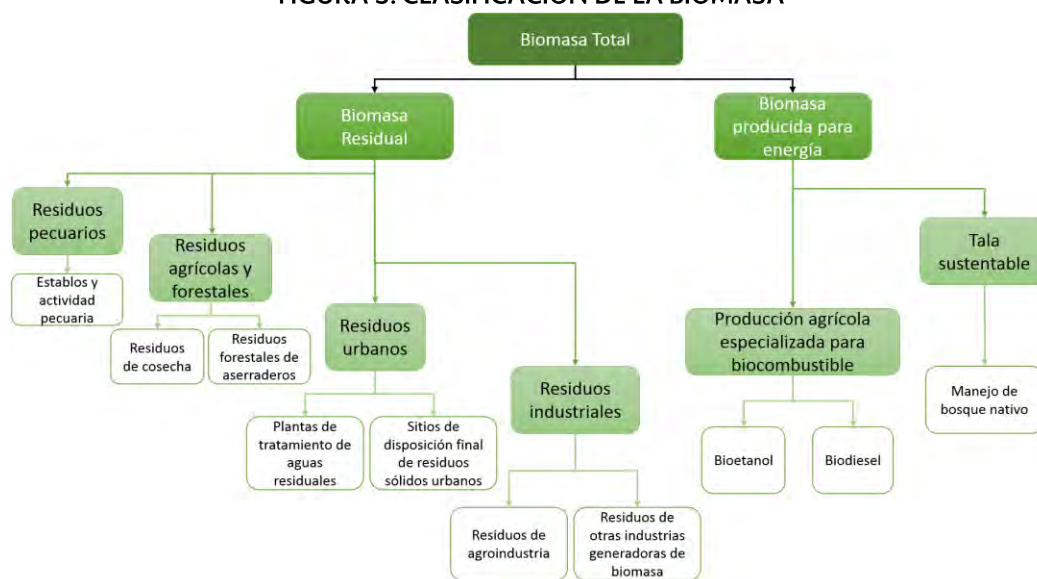
especializados, y tala sustentable. La Figura 3 muestra de manera gráfica la relación entre estas categorías.

**Residuos agrícolas y forestales.** Se conocen como residuos agrícolas y forestales, todos aquellos que se generan a partir de cultivos de leña o de hierba y los producidos en el desarrollo de actividades propias de estos sectores. Los residuos agrícolas son las cantidades de desecho producto de la agricultura; aunque es necesario reciclar un porcentaje de la biomasa para proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos, una cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía. Ejemplos de este tipo de residuos son paja de

cereales, rastrojo de maíz, desperdicio del procesamiento de hortalizas y frutas entre otros.

Por su parte, los residuos forestales, en buena parte son el resultado del mantenimiento y mejora de las montañas y masas forestales. Por ejemplo cuando se hacen podas o limpiezas. Adicionalmente, también se incluyen los residuos resultantes de cortar los troncos de los árboles para hacer productos de madera. Estos trabajos generan residuos que es necesario retirar del bosque puesto que constituyen un riesgo muy importante en la propagación de plagas y de incendios forestales.

FIGURA 3. CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA



FUENTE SENER (2013).

**Residuos industriales.** Este tipo de residuo proviene de diferentes industrias tales como la cervecera, azucarera, de alimentos y procesamiento de frutas, entre otras. Estas industrias generan una gran cantidad de residuos que pueden servir como materia prima para la obtención de biogás. Dentro de esta categoría también se incluyen los residuos de alimentos y aceite de cocina usado que provienen de la actividad doméstica.

**Residuos urbanos.** Los residuos urbanos se componen por los lodos de plantas de tratamiento de agua residuales y los residuos sólidos urbanos.

Las plantas de tratamiento de agua tienen el objetivo de eliminar o reducir la cantidad de contaminantes contenidas en el agua. El resultado de esta depuración de agua es un lodo que se puede utilizar como materia prima para la generación de biogás. La composición de los lodos depende del origen de los mismos, si es urbano o si es industrial.

Por otra parte, los residuos sólidos urbanos incluyen aquellos residuos orgánicos que se generan como resultado de la actividad diaria de las poblaciones y comprenden material en fase sólida, líquida, gaseosa así como sus mezclas. Es importante aclarar que los residuos provenientes de los vertederos o rellenos sanitarios (residuos viejos) no son aptos para el proceso de digestión anaeróbica, ya que estos han iniciado el proceso bioquímico.

**Residuos pecuarios.** En la industria ganadera, el estiércol es un producto que se genera de forma intensa; esta materia se puede utilizar como alimentación a los digestores para conversión de biogás. Generalmente, este material es almacenado en las granjas durante varios meses, ya sea en estado líquido o sólido, para después ser utilizado como fertilizante. Durante el almacenamiento la digestión anaerobia puede tener lugar en las capas inferiores, por lo que el gas producido generalmente es liberado a la atmósfera o quemado.

La mezcla de estiércol con cultivos energéticos u otros flujos de residuos para la digestión anaerobia es una opción atractiva para aumentar la producción de biogás en un proceso de codigestión. En los países en desarrollo, el estiércol se utiliza a menudo en pequeños digestores anaeróbicos de escala familiar y el gas se utiliza principalmente para cocinar, siendo otras aplicaciones la iluminación doméstica o los motores de encendido por chispa.

**Cultivos especializados.** En el contexto de la producción de biogás, los cultivos especializados comprenden variedades vegetales cultivadas específicamente para la alimentación a plantas de biogás. Los cultivos típicos en Europa y América del Norte son el maíz y el sorgo dulce. En el norte de Europa la remolacha azucarera también está ganando importancia. La mezcla de estiércol y maíz es una materia prima común para las plantas de biogás en las granjas de Europa.

**Tala sustentable.** La biomasa proveniente de la madera no se considera adecuada para la producción anaeróbica de biogás debido a su alto contenido de lignina; sin embargo, la madera puede ser convertida en metano mediante un proceso de gasificación térmica. El producto obtenido de esta transformación se conoce generalmente como gas natural sintético o gas de síntesis.

### Usos y aplicaciones de Biogás

El biogás tiene una variedad de usos dentro de los que se encuentran la generación de energía eléctrica, generación de calor o vapor para calentamiento de agua y alimentos, así como combustible para vehículos.

**Generación de electricidad.** La producción de electricidad a partir de biogás es todavía relativamente poco frecuente en la mayoría de los países en desarrollo. En contraste, en países desarrollados, la generación de energía es el objetivo principal de la mayoría de las plantas de biogás. Cabe señalar que la generación de electricidad a partir de biogás utiliza tecnologías ampliamente conocidas.

**Generación de calor o vapor.** El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás proporcionan energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los quemadores de gas convencionales se pueden adaptar fácilmente para operar con biogás, simplemente cambiando la relación aire-gas. Para este fin el requerimiento de calidad del biogás es bajo.

**Combustible para vehículos.** El uso vehicular del biogás es posible, de hecho se ha empleado desde hace bastante tiempo. Para esto, el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural a fin de que pueda usarse en vehículos que se han acondicionado para el funcionamiento con este gas. La mayoría de vehículos de esta categoría han sido equipados con un tanque de gas y un sistema de suministro de gas, además del sistema de gasolina normal de combustible. El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diésel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión.

### Beneficios del Biogás

Las plantas de biogás proporcionan múltiples beneficios que se aprecian de manera diferente de acuerdo al país, y pueden clasificarse en función de su impacto en la seguridad energética, cuidado al medio ambiente, reducción de los gases de efecto invernadero y beneficios económico sociales.

## Seguridad energética

El desarrollo de biogás representa un paso importante para dejar de depender de los combustibles fósiles, además de contribuir al desarrollo de un suministro de energía sostenible y mejorar la seguridad energética en el largo plazo.

## Cuidado del medio ambiente

La combustión del metano genera una flama limpia y pura, lo que significa que las calderas y otros equipos no estarán obstruidas por el hollín y cenizas. El resultado de esta condición contribuye a mantener un medio ambiente más limpio, y posiblemente, una reducción de los costos de mantenimiento de la planta.

## Reducción del impacto de Gases de Efecto Invernadero “GEI”

El biogás producido de forma sostenible puede reducir significativamente la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). En todo el mundo, de los 30 millones de toneladas anuales de emisiones de metano que se generan a partir de los diferentes sistemas de gestión de residuos de origen animal, cerca de la mitad podrían evitarse mediante el tratamiento anaeróbico. Se estima que cada año se puede evitar en todo el mundo la liberación a la atmósfera de más de 13 millones de toneladas de metano a través del tratamiento anaeróbico de residuos animales y el aprovechamiento energético del metano producido.

## IMAGEN 1. CALDERA OPERADA CON BIOGÁS



FUENTE: Clúster Biocombustibles Gaseosos.

## Beneficios económicos y sociales

En materia social y económica la producción de biogás ofrece la siguiente gama de beneficios. Por una parte se generan fuentes de empleo. La implementación de sistemas de producción de biogás a partir de residuos orgánicos (biomasa residual da lugar a la creación de puestos de trabajo permanentes y el desarrollo regional. Para la ejecución de proyectos de este tipo, se requiere la participación de un conjunto de partes involucradas en áreas para la planificación, construcción, estimación de costos, producción y control para la implementación de la tecnología del biogás.

Por otro lado, es posible generar energía de manera descentralizada. Una de las ventajas del biogás es que se puede generar a nivel local, sin la necesidad de ser transportado por largas distancias o de importar materias primas especiales. Las pequeñas y medianas empresas y las autoridades locales pueden establecer plantas de biogás en cualquier lugar (es decir, no tienen que estar situados en un lugar determinado, por ejemplo, en o cerca de grandes ciudades).

Adicionalmente, otros beneficios del biogás incluyen la eliminación de microorganismos patógenos (la digestión anaeróbica destruye efectivamente microorganismos nocivos como *E. coli* y *M. avium*); la obtención de fertilizantes (el efluente de digestores de biogás puede servir como fertilizante orgánico de alta calidad); y la reducción del volumen de residuos urbanos e industriales que son desechados.

## Estado de los recursos de biomasa para la producción de biogás

De acuerdo con estimaciones de la Secretaría de Energía, México cuenta con un potencial de generación de energía que podría alcanzar los 4,900 TWh por año proveniente de fuentes renovables, incluyendo biomasa. Tan sólo de biomasa se estima una potencial superior a los 7 TWh por año (SENER, 2016). En el caso de México, las principales fuentes para la producción de biogás son los residuos pecuarios y urbanos. A continuación se presenta una breve descripción general de estas fuentes para la producción de biogás.

## Residuos pecuarios

Los sectores porcícola y bovino son los que ofrecen el mayor potencial para la producción de biogás en México. El potencial estimado para la producción de biogás en el sector porcícola es de 652 millones de m<sup>3</sup> al año (REMBIO, 2012). La distribución de las fuentes potenciales de biogás en el sector porcícola de México se muestra en la Figura 4. En esta se observa que los estados con mayor potencial para el aprovechamiento de esta fuente son: Guanajuato, Jalisco, Puebla, Sonora, Veracruz y Yucatán.

**FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DE FUENTES POTENCIALES DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL SECTOR PORCÍCOLA**



FUENTE: REMBIO (2012).

La importancia del sector ganadero bovino (establos lecheros) por su parte radica en que cuentan con un alto nivel de tecnificación lo cual permite tener un sistema adecuado para el manejo de ganado tal como una producción constante de desechos y la recolección confinada de excretas. Se reporta que alrededor del 51% de éstas unidades productivas en el país cuenta con las características tecnológicas adecuadas para la producción de biogás a través de un biodigestor. Para el sector bovino, se estima un potencial de producción de biogás de 1,476 millones de m<sup>3</sup> al año. Los estados que cuentan con un mayor potencial de producción de biogás se muestran en la Figura 5.

Es importante señalar que la región de la Comarca Lagunera y el Norte de la República concentran la mayoría de los establos lecheros que cumplen las características operativas que permiten el aprovechamiento de excretas para la producción de biogás (REMBIO, 2012).

**FIGURA 5. DISTRIBUCIÓN DE FUENTES POTENCIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL SECTOR GANADERO BOVINO**



FUENTE: REMBIO (2012).

**IMAGEN 2. GANADO VACUNO**



FUENTE Sala de prensa SAGARPA.

## Residuos urbanos

Los rellenos sanitarios y los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales son los componentes principales de los residuos urbanos que tienen alto potencial de aprovechamiento en México para la producción de biogás.

De acuerdo a los datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía "INEGI", durante el 2014 se generaron en México 103,125 toneladas de residuos sólidos urbanos (INEGI, Indicadores de Medio Ambiente, 2014), de los cuales, alrededor del 67% terminaron en rellenos sanitarios durante 2012 (SEMARNAT, "Residuos sólidos urbanos"). Se estima que existen en México más de 180 rellenos sanitarios (REMBIO, 2012). De acuerdo a la SEMARNAT, los estados de la república que cuentan con el mayor número de estos rellenos son los estados de San Luis Potosí (26), Puebla (18), Guanajuato (17), estado de

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

México (16) Hidalgo (15), Veracruz y Nuevo León (cada uno con 14).

En la Figura 6 se muestra la distribución de los rellenos sanitarios en el país como fuentes potenciales para la producción de biogás.

**FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN DE FUENTES POTENCIALES DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RELLENOS SANITARIOS**



FUENTE: REMBIO (2012).

Por otra parte, los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales también suman un volumen importante de material que puede ser utilizado para la producción de biogás. En estas plantas se lleva a cabo la conversión biológica por acción de microorganismos y una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tiene por objeto eliminar los contaminantes del agua.

**IMAGEN 3. PTAR LOS ITZICUAROS, MICHUACAN**



FUENTE: CONAGUA (2014).

En la Figura 7 se muestran los estados que presentan un mayor potencial para la producción de biogás en el país a partir de plantas de tratamiento de aguas residuales.

**FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN DE FUENTES POTENCIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PROVENIENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**



FUENTE: REMBIO (2012).

De acuerdo al inventario realizado en 2014 por la Comisión Nacional del Agua “CONAGUA”, en México existen 2,337 plantas de tratamiento de aguas residuales en operación con una capacidad instalada de 151.8 m<sup>3</sup>/s. Estas plantas procesan un caudal de 111.2 m<sup>3</sup>/s equivalente al 73.2 % el total de aguas recolectadas en los sistemas formales de alcantarillado municipal (CONAGUA, 2014).

El proceso de digestión anaeróbica está presente durante el tratamiento de aguas, generando biogás, el cual, puede emplearse como fuente de energía en motores o microturbinas dentro del mismo proceso. El tipo de método para el tratamiento de aguas residuales es importante para la producción de biogás.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

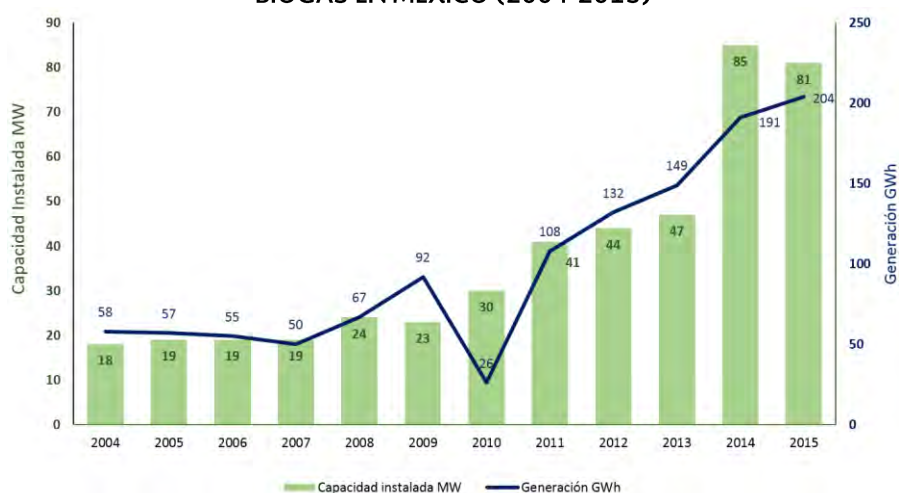
### Capacidades actuales de producción de biogás en México

De acuerdo con el reporte de avance de energías limpias al primer semestre de 2016 (SENER, 2017), la capacidad de generación de electricidad a partir de biogás pasó de 19 MW en 2005 a 81MW en 2015, es decir se cuadruplicó la capacidad instalada en tan sólo una década. En el

mismo periodo la generación de electricidad pasó de 57 a 204 GWh (Gráfica 1).

Tomando como referencia un factor de conversión de 9.97 kWh por metro cúbico de biometano equivalente<sup>3</sup>, en 2015 se consumieron 20.4 millones de metros cúbicos de biometano equivalente.

**GRÁFICA 1. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOGÁS EN MÉXICO (2004-2015)**



FUENTE: (SENER, 2017).

La capacidad y la generación de energía eléctrica de las plantas generadores de electricidad por biogás que existen en México se muestran en la Tabla 3. En esta tabla se puede observar que la planta Bioenergía de Nuevo León genera aproximadamente el 63% de la energía proveniente de biogás en el ámbito nacional. La contribución por estado en la generación de energía eléctrica se muestra en la Tabla 4. De

acuerdo a los datos reportados al 2015, Nuevo León se sitúa como el estado con el mayor porcentaje de generación de energía con 63.3% del total, seguido por Chihuahua con apenas el 15.8%. El resto de los estados (Aguascalientes, México, Jalisco, Querétaro, Durango y Guanajuato) en conjunto suman tan sólo el 20.9%.

<sup>3</sup> Volumen estimado a condiciones normales de temperatura y presión.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

**TABLA 3. PLANTAS GENERADORAS DE BIOGÁS EN MÉXICO**

| <i>Estado</i>     | <i>Municipio</i>         | <i>Nombre</i>                                  | <i>Productor</i> | <i>Unidades</i> | <i>Capacidad instalada (MW)</i> | <i>Generación (GWh/año)</i> |
|-------------------|--------------------------|------------------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Aguascalientes    | Aguascalientes           | Energía Verde de Aguascalientes                | Privado          | 2               | 3.2                             | 12.33                       |
| Chihuahua         | Delicias                 | Energía Láctea                                 | Privado          | 1               | 0.8                             | 0.11                        |
| <b>Chihuahua</b>  | <b>Juárez</b>            | <b>Energía Eléctrica de Juárez</b>             | <b>Privado</b>   | <b>4</b>        | <b>6.4</b>                      | <b>25.51</b>                |
| Durango           | Durango                  | Ener-G                                         | Privado          | 1               | 1.6                             | 2.03                        |
| Edo. de México    | Ecatepec de Morelos      | La Costeña y Jugomex                           | Privado          | 1               | 0.97                            | 4.51                        |
| Edo. de México    | Atizapán                 | Relleno Sanitario Puerto de Chivos (Energreen) | Privado          | 1               | 0.6                             | 3.5                         |
| Guanajuato        | León                     | Ecosys III                                     | Privado          | 2               | 1.75                            | 1.36                        |
| Jalisco           | Zapopan                  | Renova Atlatec                                 | Privado          | 8               | 11.4                            | 0                           |
| Jalisco           | Tlajomulco de Zúñiga     | Atlatic, Planta El Ahogado                     | Privado          | 2               | 2.85                            | 7.58                        |
| Nuevo León        | San Nicolás de Los Garza | Planta Norte (Gob. de Nuevo León)              | Privado          | 4               | 1.6                             | 0                           |
| Nuevo León        | Pesquería                | Planta Dulces Nombres                          | Privado          | 8               | 9.2                             | 0.59                        |
| <b>Nuevo León</b> | <b>Salinas Victoria</b>  | <b>Bioenergía de Nuevo León</b>                | <b>Privado</b>   | <b>7</b>        | <b>16.96</b>                    | <b>101.58</b>               |
| Puebla            | Nopalucan                | Empacadora San Marcos                          | Privado          | 1               | 0.974                           | 0                           |
| Querétaro         | Santiago de Querétaro    | Atlatic                                        | Privado          | 1               | 1.05                            | 2.42                        |
| Querétaro         | Querétaro                | TMQ Generación Energía Renovable               | Privado          | 2               | 1.373                           | 0                           |

FUENTE: Elaboración propia con datos de INERE versión 4.5 (SENER, 2015)

**TABLA 4. CONTRIBUCIÓN POR ESTADO EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOGÁS**

| <i>Estado</i>  | <i>Generación (GWh/año)</i> | <i>%</i>     |
|----------------|-----------------------------|--------------|
| Nuevo León     | 102.2                       | 63.3         |
| Chihuahua      | 25.6                        | 15.8         |
| Aguascalientes | 12.3                        | 7.6          |
| México         | 8.0                         | 5.0          |
| Jalisco        | 7.6                         | 4.7          |
| Querétaro      | 2.4                         | 1.4          |
| Durango        | 2.0                         | 1.2          |
| Guanajuato     | 1.4                         | 1.0          |
| <b>Total</b>   | <b>161.5</b>                | <b>100.0</b> |

FUENTE: Elaboración propia con datos de INERE versión 4.5 (SENER, 2015)

### Capacidades de soporte para la realización de Investigación y Desarrollo Tecnológico

En México se han realizado diferentes proyectos de investigación relacionados con la producción o uso de biogás desde hace más de tres décadas. Existen evidencias de diversas publicaciones y tesis de grado que se han generado en instituciones mexicanas desde la década de los ochenta (por ejemplo UNAM, IPN y UAM). Sin embargo, la continuidad en la producción de publicaciones empieza a ser regular a partir del año 2000. Lo anterior es un indicador de que las capacidades para la realización de proyectos de investigación y desarrollo en instituciones Mexicanas se han fortaleciendo de manera gradual. La formación de la red mexicana de bioenergía en 2003 es quizá el parteaguas en el inicio de la consolidación de grupos de investigación en el estudio de biogás.

Actualmente, las capacidades de soporte para la realización de investigación y desarrollo en el tema de biogás se concentran prácticamente en el Clúster Biocombustibles Gaseosos del CEMIE- Bio, el cual se formó en 2016.

El Clúster conjunta a instituciones y empresas de diferentes partes del país. Actualmente está conformado por 19 entidades entre las que se encuentran 12 centros de investigación e instituciones de educación superior, 5 empresas, 1 Secretaría de gobierno y 1 Cámara de comercio. El clúster es liderado por el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. (IPICYT).

### IMAGEN 4. PRODUCCIÓN DE BIOGAS EN EL IINGEN



FUENTE: Clúster Biocombustibles Gaseosos.

El clúster tiene por propósito realizar investigación aplicada, desarrollo tecnológico, innovación y formación de recursos humanos especializados en temas relacionados con el aprovechamiento de residuos orgánicos (biomasa residual) para la producción descentralizada de bioenergía. Las instituciones que lo integran tienen amplia experiencia en investigación y desarrollo en biotecnología, bioingeniería, bioprocesos, biotecnología ambiental, ecología microbiana, automatización y control, enfocada a temas de bioenergía. Además, cuenta con personal competente y la infraestructura experimental necesaria para realizar investigaciones en el aprovechamiento de diferentes tipos de residuos. Sus principales acciones estratégicas abordan temas como son la producción de biogás y biohidrógeno, así como procesos de transformación a energía eléctrica y térmica. Las instituciones que lo conforman se listan a continuación.

### Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico e IES:

1. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. (IPICYT), Institución Líder.
2. Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE).
3. Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY).
4. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ).
5. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ).
6. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad de Guadalajara (CUCEI).
7. Instituto de Investigación en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México (IIES, antes CIECO).
8. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla y Ciudad de México (IINGEN-UNAM).
9. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México (FQ-UNAM).

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

10. Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa (UAM-C).
11. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I).
12. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex)

### **Sector privado:**

13. Elnsyst S.A. de C.V. (antes IB Tech).
14. RESINERGIA S.A.P.I. de C.V.

15. Cydsa.
16. Ranman Energy.
17. Grupo Productor de Energías Limpias.

### **Otras organizaciones:**

18. Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología, Gobierno del Estado de Jalisco.
19. Cámara Nacional de la Industria Tequilera.

## Visión al 2030

El gobierno mexicano ha establecido compromisos nacionales e internacionales de generación de energía limpia y disminución de gases de efecto invernadero. Los más relevantes se localizan en la ley de transición energética, donde se establece que para el año 2018 el 25% de la generación eléctrica deberá provenir de energías limpias, en el 2021 el 30%, y para año 2024 el 35%. Adicionalmente, el gobierno adquirió otro compromiso en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2015<sup>4</sup> (COP 21), donde anunció la meta de reducir en un 22% la emisión nacional de gases de efecto invernadero para el año 2030.

Como parte de la estrategia para cumplir con dichas metas se encuentra la diversificación de la matriz energética y la sustitución de los combustibles de origen fósil. En este sentido, el biogás representa una alternativa que puede tener impacto significativo en ambos propósitos, al ser un combustible versátil con diferentes usos, entre ellos la generación de electricidad.

Considerando lo anterior, dentro de los impulsores que favorecen la producción de biogás se encuentran los siguientes:

- Aprovechar los residuos urbanos que son generados por las actividades humanas, los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como los residuos pecuarios, agrícolas, forestales e industriales.
- Disminuir la contaminación de suelos, los mantos freáticos, así como los desfuegos de biogás ocasionados por la acumulación de desechos en rellenos sanitarios.
- Generar ahorros económicos para los productores agropecuarios, ya que el biogás se puede utilizar para cubrir servicios de calentamiento, calefacción y electricidad, además aprovechar los efluentes de los reactores como fertilizantes.

## IMAGEN 5. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS



Fuente: Agencia Informativa CONACYT.

- Diversificar la matriz energética y reducir dependencia de fuentes de energía de origen fósil.

Es importante señalar que por más de una década se han desarrollado políticas públicas en México encaminadas a fomentar inversiones en los diferentes eslabones de la cadena de valor del mercado de biocombustibles. Particularmente, para la producción de biogás en el territorio nacional, existen mecanismos de financiamiento para la instalación de biodigestores.

La SAGARPA a través del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y la iniciativa denominada Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), han apoyado un número importante de proyectos; tan sólo en 2014 se contaba con 2,167 digestores en México (IRRI Mexico & Tetra Tech ES, 2015). Por su parte, la SEMARNAT ha impulsado diversos proyectos para el aprovechamiento de los residuos, incluyendo la recuperación de biogás de los vertederos y proyectos de digestión anaerobia para la producción de biogás a partir de diferentes residuos. No obstante, a pesar de los esfuerzos realizados, no se ha logrado potenciar la producción de biogás.

Los diversos actores involucrados en el desarrollo de la industria, como son las agencias gubernamentales, empresarios y la comunidad de investigación y desarrollo tecnológico visualizan tres escenarios posibles en relación a la evolución de la capacidad instalada para la producción de biometano equivalente para el 2030 (ver Tabla 5).

<sup>4</sup> Los compromisos mencionados se establecieron a través del documento "Intended Nationally Determined Contribution México", presentado ante la conferencia de Naciones Unidas contra el Cambio Climático en marzo de 2015 (COP 21) en París

Francia, dicha propuesta fue ratificada en noviembre 2016 en Marrakech Marruecos (COP 22).

Las estimaciones en los tres escenarios toman como base la producción de energía eléctrica a partir de biometano equivalente reportado por la Secretaría de Energía, el cual fue para el año 2015 de 204 GW (SENER, 2017), lo que representa aproximadamente un consumo de 20.4 Millones de metros cúbicos de biometano equivalente<sup>5</sup>. Dado que no existe un registro de la producción de biogás en las otras aplicaciones, este valor se usó como referencia para dimensionar las capacidades nacionales actuales de producción.

**TABLA 5. ESCENARIOS DE EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN TÉRMINOS DE BIOMETANO EQUIVALENTE EN MÉXICO**

|                                   | 2024<br>(Mm <sup>3</sup> /año) | 2030<br>(Mm <sup>3</sup> /año) |
|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Escenario optimista               | 120                            | 800                            |
| Escenario intermedio (referencia) | 60-100                         | 200 a 250                      |
| Escenario moderado                | 32                             | 57                             |

Mm<sup>3</sup>/a: Millones de metros cúbicos anuales de biometano equivalente a condiciones normales de temperatura y presión.

\*Factor de conversión utilizado 9.97kWh/m<sup>3</sup> de biometano

Por lo tanto, en el primero de los escenarios (moderado) se estima que al 2030 se podrían producir 57 millones de metros cúbicos anuales (Mm<sup>3</sup>/año) de biometano equivalente. En contraste, las estimaciones optimistas consideran que es factible alcanzar una producción de 800 Mm<sup>3</sup>/año hacia el año 2030. Para cada caso las premisas son diferentes. En el escenario moderado, el principal argumento que limitaría el crecimiento es el escaso atractivo que presenta la producción de biogás como negocio, combinado con la insuficiencia de recursos económicos para el financiamiento de proyectos. En el escenario optimista el principal argumento a favor del crecimiento de la industria es que existe infraestructura de recolección y producción que no está siendo utilizada de manera eficiente<sup>6</sup> y una gran cantidad de residuos que no están siendo aprovechados.

A los dos escenarios descritos anteriormente, se suma el escenario intermedio (referencia), que podría tener mayor posibilidad de alcanzarse de acuerdo con las estimaciones de los expertos. En este escenario se combina la posibilidad de aprovechar de mejor manera la capacidad instalada y la existencia de incentivos que hagan atractivas las inversiones en proyectos de plantas de biogás. De esta forma, es posible incrementar la producción del biogás en el rango de 60 a 100 Mm<sup>3</sup>/año al 2024 y de 200 a 250 Mm<sup>3</sup>/año al 2030.

Los tres escenarios que se presentan comparten la posibilidad de observar dos fases en el horizonte al año 2030; en la primera de ellas se visualiza el interés por desarrollar proyectos de biogás para autoconsumo, ya sea para la generación de energía eléctrica o calor. Posteriormente, en el mediano plazo, es posible que los proyectos de producción de biometano empiecen a despertar el interés de los inversionistas. Los proyectos de generación de biometano estarían destinados a atender mercados como son el sector autotransporte o el consumo de gas para uso residencial e industrial.

La construcción del mapa de ruta toma como base el escenario de referencia, ya que de acuerdo a las opiniones de los expertos que participaron en los talleres, es el que tiene mayores posibilidades. En consecuencia, la visión al 2030 está basada en este escenario. Así, la visión para la producción de biogás en el país al año 2030 es la siguiente: ***“Contar con una industria nacional de biogás desarrollada con una capacidad instalada de producción de biometano equivalente, al 2030 en el rango de 200 a 250 Mm<sup>3</sup>/año<sup>7</sup>.”*** (Ver Figura 8).

Para lograr la visión se requiere de diferentes acciones y la participación activa de actores clave de los ámbitos gubernamental, científico, tecnológico e industrial.

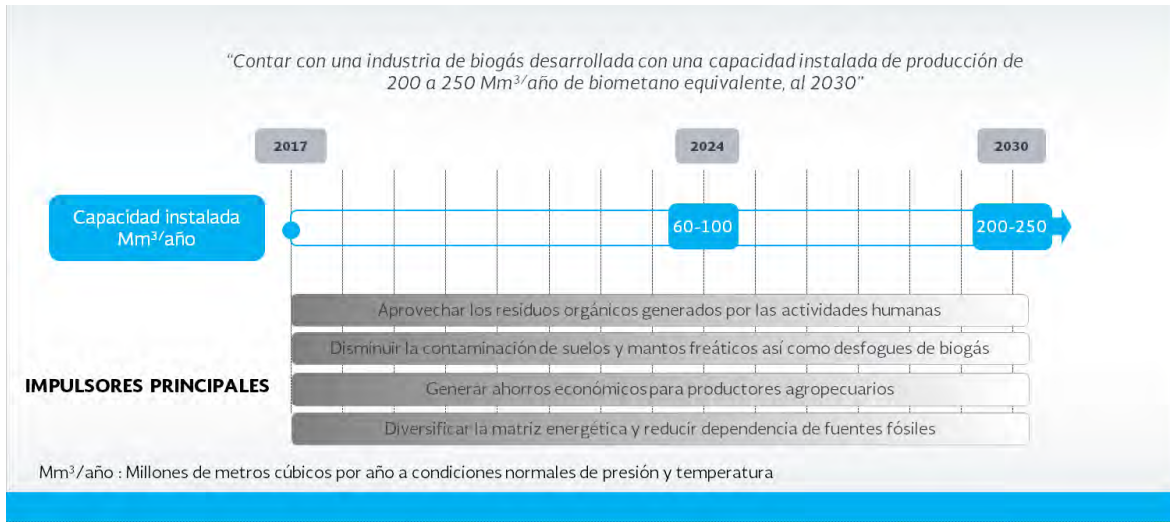
<sup>5</sup> El factor de conversión utilizado para el cálculo es 9.97kWh/m<sup>3</sup> de biometano equivalente.

<sup>6</sup> En 2010 existían en México, 721 biodigestores, de los cuales 367 en operación y 354 en construcción (FIRCO, 2011).

<sup>7</sup> La visión establecida considera diferentes usos del biogás, incluido el calentamiento de agua para diferentes servicios y la generación de energía eléctrica. Dadas las condiciones actuales del mercado se prevé con mayores posibilidades, que esta última aplicación, se dé a través de la generación distribuida.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

FIGURA 8. VISIÓN AL 2030 PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS



Es importante señalar que las metas de biogás están definidas en términos de biometano equivalente. La principal razón es porque existen factores de conversión estandarizados del volumen de biometano requerido para generar energía eléctrica. En el caso del biogás, su factor es variable ya que depende de su composición y ésta es a su vez función de la materia prima utilizada.

IMAGEN 6. PANORAMICA DE PLANTA DE BIOGÁS



FUENTE: Agencia Informativa CONACYT (2017).

## Implementación de la visión

El incremento de la capacidad producción de biogás y el inicio del desarrollo de la industria del biometano avanzarán de acuerdo a la velocidad con la que sean atendidos diversos retos y barreras que actualmente limitan su potencial. Los escenarios de incremento en la capacidad de producción de biogás hacia el año 2030 serán alcanzables en la medida en la que exista un mayor compromiso de la sociedad, el gobierno y los sectores industriales para hacer un mejor manejo y aprovechamiento de residuos.

A pesar de los proyectos antes mencionados, se observa un potencial importante en los residuos que pueden ser aprovechados para la producción y extracción de biogás. Para ello será importante presentar al sector productivo las ventajas y beneficios del aprovechamiento de los mismos.

En las siguientes secciones se describen una serie de acciones que permitirán enfrentar los retos que presenta la producción de biogás para atraer el interés de empresarios e inversionistas, así como acciones que permitirán habilitar la consolidación y crecimiento del mercado de biogás, en un primer momento y posteriormente el de biometano.

### I. Acciones estratégicas: retos tecnológicos

Las acciones que se presentan a continuación tienen correspondencia con los retos tecnológicos considerados prioritarios de atender y toman como referencia los eslabones principales en la cadena de valor para la producción de biogás y biometano; es decir colecta de materia prima, pretratamiento, conversión así como el acondicionamiento; ésta última fase aplicable principalmente a la producción de biometano.

Los retos principales se establecen con base en la producción considerada en el escenario de referencia descrito en la sección anterior. En dicho escenario se establece la posibilidad de incrementar la producción de biogás a 200-250 millones de metros cúbicos equivalentes de biometano.

Para atender cada uno de los retos se indica la estrategia predominante a seguir tomando en cuenta el tiempo disponible para su atención, así como la disponibilidad de capacidades técnicas en México. En este sentido se consideran tres estrategias tecnológicas genéricas:

- Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional.
- Desarrollo en colaboración con entidades en ámbito internacional.
- Implementación de soluciones o tecnologías existentes.

La primera de las estrategias indica que existen recursos y capacidades a nivel nacional para atender el reto, por lo que su solución será atendida primordialmente por entidades nacionales. La segunda estrategia establece que algunas de las capacidades o recursos clave para la atención del reto están en posesión de entidades extranjeras, por lo que algunas de las acciones propuestas para su atención podrían involucrar la participación de entidades en el ámbito internacional. La participación de estas entidades se podría dar en forma de capacitación, asesoría técnica, consultoría o desarrollo conjunto por citar sólo algunas de las posibilidades. Finalmente, la tercera estrategia es aplicable en situaciones en las que se dispone de un tiempo muy corto para resolver el reto y ya existen soluciones o tecnologías probadas para su atención. Esta última estrategia asume que la tecnología necesaria para su atención no es del todo crítica en el desarrollo sostenible de la industria de biogás.

Para lograr el desarrollo de la industria de producción de biogás en México hacia el 2030 se identifican 12 retos prioritarios, los cuales se presentan en la Tabla 6.

En los siguientes apartados se describe cada uno de los retos, éstos se presentan agrupados en relación al eslabón del proceso de producción de biogás en el que tienen un mayor impacto.

# MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

**TABLA 6. RETOS IDENTIFICADOS PARA EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA DE BIOGÁS HACIA EL 2030**

| <i><b>Etapas de la cadena de la valor</b></i> | <i><b>Reto identificado</b></i>                                                                                                          |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Colecta de materia prima                      | Diseñar e implementar una estrategia nacional de manejo de residuos orgánicos (biomasa residual).                                        |
| Pretratamiento                                | Adaptar y mejorar tecnologías de pretratamiento a partir de biomasa lignocelulósica.                                                     |
|                                               | Adaptar y mejorar tecnologías de pretratamiento a partir de biomasa proveniente de residuos sólidos urbanos y agroindustriales.          |
|                                               | Desarrollar e implementar sistemas de monitoreo y control para los procesos de pretratamiento.                                           |
| Conversión                                    | Desarrollar un catálogo de tecnologías de biogás aplicables a nivel nacional.                                                            |
|                                               | Diseñar e implementar un programa para la instalación de plantas de biogás en diferentes ciudades del país.                              |
|                                               | Mejorar las especificaciones nacionales de diseño, construcción y operación de digestores y plantas de digestión anaerobia.              |
|                                               | Desarrollar e implementar sistemas de monitoreo y control automático para mantener un proceso de producción de biogás estable y robusto. |
|                                               | Desarrollar un sistema de monitoreo nacional del desempeño de plantas de biogás.                                                         |
|                                               | Mejorar la calidad de los co-productos de la producción del biogás para su uso y disposición.                                            |
|                                               | Desarrollar e implementar sistemas de monitoreo, reporte y verificación (MRV) para los proyectos de producción de biogás.                |
| Acondicionamiento                             | Desarrollar, adecuar e integrar tecnologías para el acondicionamiento del biogás a biometano.                                            |

## I. a Colecta de materia prima

Actualmente existe información limitada y dispersa del volumen de biomasa y desechos que pueden aprovecharse en México para producir biogás. Aunado a ello, tampoco se dispone de información consolidada sobre la regulación del manejo y disposición de residuos en los niveles municipal y estatal. Se estima que es marginal el aprovechamiento de residuos agrícolas, urbanos, industriales y pecuarios para la generación de energía o productos de mayor valor agregado. Aun cuando existen leyes y normatividades para el manejo de los residuos y efluentes en el ámbito federal, la mayoría de los gobiernos municipales y estatales no vigilan su cumplimiento.

La disponibilidad de materia prima es uno de los pilares clave para la consolidación de la producción de biogás en gran escala. A fin de garantizar su abastecimiento a las plantas de digestión anaerobia, se requiere atender retos relacionados con el manejo y disposición de residuos, particularmente los generados por los sectores industriales, en las grandes urbes, incluyendo los lodos provenientes de las plantas de aguas residuales.

En la Tabla 7 se presenta la estimación de la posibilidad de aprovechamiento en México de diferentes fuentes de materias primas para la producción de biogás.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

**TABLA 7. DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**

| <i><b>Materia prima</b></i>                         | <i><b>Disponibilidad</b></i> |
|-----------------------------------------------------|------------------------------|
| Residuos sólidos urbanos <sup>a</sup>               | Corto plazo (2018)           |
| Lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales | Corto plazo (2018)           |
| Residuos de la industria de alimentos               | Corto plazo (2018)           |
| Residuos pecuarios                                  | Mediano plazo (2024)         |
| Residuos agrícolas                                  | Largo plazo (2027)           |
| Residuos forestales                                 | Largo plazo (2027)           |
| Cultivos energéticos                                | Largo plazo (2027)           |

<sup>a</sup> Para fines de este MRT se consideran como residuos sólidos urbanos solamente a la fracción orgánica.

Como se puede observar en el corto plazo, es posible aprovechar como insumos para la producción de biogás los residuos sólidos urbanos, lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales y residuos provenientes de la industria de alimentos; la abundancia de estos desechos permitiría generar volúmenes importantes de biogás para cumplir con gran parte de las metas establecidas.

En el mediano plazo, además de los insumos señalados anteriormente, es probable adicionar los residuos pecuarios. Estos residuos se generan en grandes volúmenes pero a diferencia de los citados anteriormente, su generación es mucho más dispersa, por lo que se requiere mayores esfuerzos para su recolección.

Finalmente, en el largo plazo es posible considerar el uso de residuos agrícolas y forestales, así como cultivos energéticos<sup>8</sup>; éstos son atractivos por su

abundancia; sin embargo, además de que su generación se presenta de manera fragmentada, las tecnologías necesarias para su aprovechamiento aún no están probadas a escala comercial; es por este motivo que se considera que estas fuentes de materia prima podrían aprovecharse en el largo plazo, cuando las tecnologías de proceso se encuentren lo suficientemente desarrolladas.

Aunque se tienen estimaciones del gran potencial de materia prima aprovechable para la producción de biogás, actualmente se carece de una estrategia integral de alcance nacional para el manejo y disposición de residuos. En este sentido, el principal reto en la etapa de colecta de materia prima es el diseño e implementación de una estrategia nacional de manejo de residuos. La Tabla 8 presenta de manera resumida el resultado esperado y la estrategia propuesta para la atención del reto.

**TABLA 8. RETOS RELACIONADOS CON LA ETAPA COLECTA Y LOGÍSTICA**

| <i><b>Reto</b></i>                                                                                            | <i><b>Resultado esperado</b></i>                                                                      | <i><b>Estrategia</b></i>                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Diseñar e implementar una estrategia nacional de manejo de residuos orgánicos (biomasa residual) <sup>a</sup> | Estrategia nacional que incluya el marco legal, recursos y mecanismos que permitan su implementación. | Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional. |

<sup>a</sup> En este documento se considera como residuos orgánicos o biomasa residual a los residuos sólidos urbanos (fracción orgánica), lodos de plantas de agua residual, residuos pecuarios, agrícolas, forestales e industriales.

<sup>8</sup> Por ejemplo cereales, sorgo, forraje y pastos.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

### a) Diseñar e implementar una estrategia nacional de manejo de residuos orgánicos (biomasa residual)

Para la atención de este reto se sugiere la realización de siete acciones, las cuales se presentan en la Tabla 9. La primera acción tiene la finalidad de asegurar que México cuente con un inventario confiable de materias primas, por lo que es importante que se realice una cuantificación y caracterización de los residuos orgánicos (biomasa residual) que se generan, su ubicación geográfica y su potencial para la producción de biogás. Esta información deberá estar disponible para el público en general, preferentemente a través de un sistema de información en línea. Adicionalmente, el sistema de información deberá incluir la normatividad aplicable para el manejo de

los residuos orgánicos (biomasa residual), estándares y regulaciones para instalar una planta de biogás. Este inventario podría estar en operación antes del 2020, una vez realizada esta acción, será necesario actualizar la herramienta periódicamente; en particular el CEMIE-Bio se visualiza como un actor importante en dicho proceso.

El inventario a su vez, servirá de base para determinar los sitios con mayor factibilidad para la producción de biogás, considerando el contexto técnico, normativo y de acceso a financiamiento. El propósito de este análisis es tener elementos para informar a los gobiernos estatales y municipales del potencial existente en zonas específicas y con ello, impulsar programas para el aprovechamiento de los residuos.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2021(continuo al 2030)

**TABLA 9. ACCIONES SUGERIDAS PARA IMPLEMENTAR UNA ESTRATEGIA NACIONAL DE MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS (BIOMASA RESIDUAL)**

| <i>Acciones sugeridas</i>                                                                                                                                                                                | <i>Periodo de atención</i> | <i>Participantes clave</i>                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------|
| Actualizar de manera periódica el inventario de biomasa considerando la caracterización de la materia prima y su procesamiento por diferentes métodos.                                                   | 24 meses                   | SAGARPA, SEMARNAT, SENER, CEMIE-Bio            |
| Efectuar un diagnóstico nacional y regional con la finalidad de definir los sitios más factibles para el establecimiento de plantas de producción de biogás.                                             | 24 meses                   | SEMARNAT, SAGARPA, CEMIE-Bio                   |
| Elaborar la estrategia nacional para el manejo de residuos y efectuar programa de implementación basado en el diagnóstico.                                                                               | 12 meses                   | SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CEMIE-Bio            |
| Implementar mejores prácticas relacionadas con la colecta, logística y separación de residuos en regiones del país donde hay posibilidades de implementar plantas.                                       | 24 meses                   | SENER, CBG, gobiernos estatales y municipales. |
| Diseñar e implementar una estrategia de difusión y sensibilización sobre la importancia de la separación de basura.                                                                                      | Permanente                 | SENER, SAGARPA, SEMARNAT.                      |
| Fortalecer las facultades de las autoridades gubernamentales responsables de la observación de las leyes de manejo de residuos para que apliquen las sanciones correspondientes a entidades infractoras. | Permanente                 | SENER, SAGARPA, SEMARNAT.                      |
| Elaborar una propuesta de modificación en el marco normativo, fundamentado en las experiencias adquiridas.                                                                                               | 24 meses                   | SENER, SAGARPA, SEMARNAT y CBG.                |

### IMAGEN 7. RESIDUOS ORGANICOS



FUENTE: Agencia Informativa CONACYT (2017).

En el ámbito federal, el inventario permitirá identificar las regiones con mayor potencial para la instalación de plantas de producción de biogás. En este sentido, el Gobierno Federal deberá promover la aplicación de las mejores prácticas a nivel mundial para diseñar e implementar programas para la recolección, logística y separación de residuos en dichas regiones. La puesta en operación de las plantas se realizaría de manera gradual a fin de demostrar los beneficios de este tipo de infraestructura y por consecuencia captar el interés de otros estados por sumarse a este tipo de iniciativas.

Otra de las acciones para atender este reto es generar campañas periódicas a nivel nacional para sensibilizar a la sociedad en general y sectores industriales sobre la importancia y necesidad de separar adecuadamente los residuos. Estas campañas deberán realizarse de manera periódica por un amplio periodo de tiempo y contar con la participación y respaldo de entidades gubernamentales como son SENER, SAGARPA y SEMARNAT por citar sólo algunas.

Es importante el cumplimiento estricto de la normatividad sanitaria y de manejo de residuos, por lo cual en paralelo se propone fortalecer las facultades de las autoridades gubernamentales responsables de la observación de las leyes de manejo de residuos para que apliquen las sanciones correspondientes o en su caso inhabilitar a las entidades infractoras recurrentes.

Una última acción que se propone, pero no menos importante, es revisar el marco normativo actual para el manejo de residuos. El marco normativo debe reflejar las prioridades nacionales en relación a la sustentabilidad de las actividades industriales y cuidado del medio ambiente tomando como base la experiencia obtenida a partir de las iniciativas que se han puesto en marcha en el pasado; por ejemplo, éste deberá de establecer una posición clara en relación a la operación de

rellenos sanitarios y fomentar la instalación de plantas especializadas para el manejo y aprovechamiento de diferentes tipos de residuos.

### I. b Pretratamiento

El pretratamiento de los insumos para la producción de biogás supone la solución de tres retos prioritarios. La Tabla 10 muestra de manera consolidada los retos identificados, incluyendo los resultados esperados y las estrategias de atención preferentes.

El primer reto está enfocado en adaptar y mejorar tecnologías de pretratamiento para biomasa lignocelulósica. Actualmente, esta materia prima es poco utilizada a nivel comercial debido a que las tecnologías de pretratamiento son poco conocidas, así como los rendimientos de las mismas. Por lo que es necesario un proceso de asimilación y adaptación a las condiciones predominantes de la región, incluyendo el tipo de biomasa de cultivos que serán utilizados para producir biogás.

El segundo reto se enfoca en adaptar y mejorar tecnologías de pretratamiento de biomasa proveniente de residuos urbanos y agroindustriales. Los procesos de pretratamiento han sido desarrollados particularmente para el procesamiento de insumos con características específicas; no obstante, es necesario seleccionar y adaptar las tecnologías disponibles para el tratamiento de residuos urbanos y agroindustriales. Con la adaptación de estas tecnologías se busca incrementar la producción de biogás.

El tercer reto consiste en desarrollar e implementar sistemas de monitoreo y control para pretratamiento que favorezcan la recuperación de los sustratos con alto contenido energético. Este reto permitirá desarrollar procesos más eficientes y con mayor rendimiento.

Como resultado de atender los tres retos prioritarios se podrá contar, a nivel nacional, con conocimientos, métodos de trabajo, infraestructura y herramientas que permitirán mejorar la relación costo-beneficio de los procesos, incrementar las tasas de rendimientos, obtener biogás de mejor calidad, y contar con paquetes tecnológicos con mayor contenido nacional. Se considera que la estrategia para resolver los tres retos es una combinación de

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional y en colaboración con entidades extranjeras que ya han desarrollado avances significativos en los temas de interés.

A continuación se describen las acciones definidas para atender cada uno de los retos.

**TABLA 10. RETOS RELACIONADOS CON LA ETAPA DE PRETRATAMIENTO**

| <b>Reto</b>                                                                                                             | <b>Resultado esperado</b>                                                                                                                                                              | <b>Estrategia</b>                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adaptar y mejorar tecnologías de pretratamiento a partir de biomasa lignocelulósica.                                    | Definición de pretratamientos adecuados de biomasa lignocelulósicas con factibilidad técnica y manejo sustentable para la creación de un mercado.                                      | Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional o en colaboración con entidades en el ámbito internacional. |
| Adaptar y mejorar tecnologías de pretratamiento a partir de biomasa proveniente de residuos urbanos y agroindustriales. | Incremento de los rendimientos de producción de biogás a partir de residuos urbanos y agroindustriales.                                                                                | Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional o en colaboración con entidades en el ámbito internacional. |
| Desarrollar e implementar sistemas de monitoreo y control para los procesos de pretratamiento.                          | Sistemas de monitoreo robustos y eficientes que favorezcan la recuperación de los sustratos con alto contenido energético.<br><br>Operación estable de los procesos de pretratamiento. | Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional.                                                            |

### **a) Adaptar y mejorar tecnologías de pretratamiento a partir de biomasa lignocelulósica**

La biomasa lignocelulósica se observa como una de las fuentes más abundantes para la producción de biogás; sin embargo para ser incorporada a un proceso de digestión deber ser pretratada con el objetivo de aumentar su rendimiento. En el pretratamiento, las macromoléculas de lignocelulosa se hidrolizan para que los microorganismos las transformen con mayor velocidad. Actualmente existen diferentes pretratamientos; no obstante, no existe uno que sea universal, por lo que es necesario adaptar las tecnologías de pretratamiento a cada tipo de biomasa a procesar. En la Tabla 11 se presentan las acciones sugeridas para atender esta problemática.

En este reto el enfoque está en el pretratamiento de material lignocelulósico proveniente por ejemplo de pencas de agave, nopal no comestible y pastos silvestres, por citar sólo algunos. Para su atención se proponen las siguientes actividades:

- Identificar biomasa lignocelulósicas con potencial para producción de biogás.
- Identificar, evaluar y seleccionar métodos de pretratamiento adecuados para la biomasa lignocelulósica.
- Desarrollar tecnologías de pretratamiento a nivel piloto.
- Implementar la tecnología a nivel industrial.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2023

TABLA 11. ACCIONES SUGERIDAS PARA ADAPTAR Y MEJORAR TECNOLOGÍAS DE PRETRATAMIENTO A PARTIR DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA

| Acciones sugeridas                                                                                      | Periodo de atención | Participantes clave                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------|
| Identificar biomasas lignocelulósicas con potencial para producción de biogás.                          | 18 meses            | SAGARPA, SENER y la ColDT+i                     |
| Identificar, evaluar y seleccionar métodos de pretratamiento adecuados para la biomasa lignocelulósica. | 24 meses            | Tecnólogos y la ColDT+i                         |
| Desarrollar tecnologías de pretratamiento a nivel piloto                                                | 24 meses            | Tecnólogos y productores de biogás y la ColDT+i |
| Implementar tecnología a nivel industrial.                                                              | 48 meses            | Tecnólogos y productores de biogás y la ColDT+i |

El periodo de tiempo mínimo requerido para la atención del reto es aproximadamente de cinco a siete años puesto que se trata de actividades secuenciales. Para su atención se estima la participación de tecnólogos nacionales e internacionales, productores de biogás, así como la comunidad de investigación, desarrollo

tecnológico e innovación (ColDT+i) nacional y extranjera, los cuales podrían ser coordinados por el Clúster Biocombustibles Gaseosos (CBG). La participación de entidades reguladoras como la SAGARPA y la SENER se considera de alta relevancia en el desarrollo del inventario de biomasa.

IMAGEN 8. MATERIAL LIGNOCELULÓSICO RESIDUAL



FUENTE: Agencia informativa CONACYT (0032016).

## b) Adaptar y mejorar tecnologías de pretratamiento a partir de biomasa proveniente de residuos sólidos urbanos y agroindustriales

Una importante fuente de materia prima para la producción del biogás proviene de los residuos sólidos urbanos y agroindustriales. En este sentido es importante señalar que debido a la diversidad,

en cuanto al tipo de moléculas, estos residuos requieren de un pretratamiento para aumentar su rendimiento durante el proceso de digestión, por lo que es fundamental identificar las características de los residuos y los pretratamientos aplicables a ellos. En la Tabla 12 se presentan las acciones sugeridas para atender esta problemática, así como los periodos de atención y los actores relevantes involucrados.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2024

**TABLA 12. ACCIONES SUGERIDAS PARA ADAPTAR Y MEJORAR TECNOLOGÍAS DE PRETRATAMIENTO A PARTIR DE BIOMASA PROVENIENTE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y AGROINDUSTRIALES**

| <i>Acciones sugeridas</i>                                                                                                    | <i>Periodo de atención</i> | <i>Participantes clave</i>                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|
| Identificar, evaluar y seleccionar métodos de pretratamiento adecuados para los residuos sólidos urbanos y agroindustriales. | 18 meses                   | CoIDT+i nacional y extranjera                       |
| Desarrollar tecnologías seleccionadas a nivel piloto.                                                                        | 24 meses                   | CBG, tecnólogos, gobiernos estatales y municipales. |
| Implementar las tecnologías a nivel industrial.                                                                              | 48 meses                   | CBG, tecnólogos y productores de biogás.            |

Como se puede observar, la atención de este reto implica la realización de tres actividades prioritarias:

- Identificar, evaluar y seleccionar métodos de pretratamiento adecuados para los residuos sólidos urbanos y agroindustriales.
- Desarrollar las tecnologías seleccionadas a nivel piloto.
- Implementar las tecnologías nivel industrial.

El periodo de tiempo mínimo que se estima necesario para la atención del reto es de siete años debido a que se trata de acciones secuenciales. Los actores involucrados en esta serie de actividades incluyen al CBG, la CoIDT+i, tecnólogos, así como

gobiernos estatales y municipales y productores de biogás.

## c) Desarrollar e implementar sistemas de monitoreo y control para los procesos de pretratamiento

Debido a las variaciones en la materia prima, aun cuando sea un sólo tipo de biomasa, es necesario hacer ajuste a las variables de proceso para lograr el máximo rendimiento y alcanzar los menores costos energéticos y de producción. Este reto plantea identificar los esquemas de control de procesos de pretratamiento adecuados a cada región del país, las biomásas procesadas y las tecnologías disponibles. En la Tabla 13 se presenta de manera resumida las acciones sugeridas para atender el reto.

# MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

Fecha de Inicio: 2019

Fecha de término: 2024

**TABLA 13. ACCIONES SUGERIDAS PARA DESARROLLAR E IMPLEMENTAR SISTEMAS DE MONITOREO Y CONTROL PARA LOS PROCESOS DE PRETRATAMIENTO**

| <i>Acciones sugeridas</i>                                                                | <i>Periodo de atención</i> | <i>Participantes clave</i>                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------|
| Identificar variables clave en la operación de los pretratamientos y su instrumentación. | 36 meses                   | CoIDT+i y tecnólogos.                        |
| Validar modelos matemáticos que permitan el diseño y evaluación de controladores.        | 24 meses                   | CoIDT+i y tecnólogos.                        |
| Implementar experimentalmente los esquemas de monitoreo y control.                       | 24 meses                   | CoIDT+i y tecnólogos.                        |
| Implementar las tecnologías desarrolladas en plantas comerciales.                        | 24 meses                   | CoIDT+i, tecnólogos y productores de biogás. |

Como se puede observar, se proponen de cuatro actividades prioritarias:

- Identificar variables clave en la operación de los pretratamientos y su instrumentación.
- Validar modelos matemáticos que permitan el diseño y evaluación (simulación) de los sistemas de control.
- Implementar experimentalmente los esquemas de monitoreo y control.
- Implementar las tecnologías desarrolladas en plantas comerciales, ya sean nuevas o existentes.

El periodo de tiempo mínimo requerido para la atención del reto es de cinco a siete años, puesto que también se trata de actividades secuenciales, las cuales se estima que podrán iniciar a partir de 2019. En la atención de este reto se visualiza la participación del CBG, la CoIDT+i, así como de empresas dedicadas al desarrollo e implementación de tecnologías de instrumentación y control.

## I. c Conversión

Actualmente la tecnología para producir biogás es madura y está ampliamente probada; sin embargo, existen algunos retos técnicos en el contexto nacional que limitan la producción de biogás y biometano. La solución de los retos mencionados implica desarrollar diferentes capacidades técnicas, específicamente aquellas relacionadas con bancos de información, métodos, estándares, así como el incremento de programas de capacitación y especialización del capital humano.

Para solucionar los retos identificados, se plantea una ruta tecnológica, la cual contempla que en el año 2024 se cuente con un programa piloto apoyado por el Gobierno Federal que sirva como base para establecer los puntos críticos en todas las etapas de la cadena de valor.

La Tabla 14 presenta los retos principales a vencer en la producción de biogás, los resultados esperados, así como la estrategia tecnológica particular para su atención.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

**TABLA 14. RETOS RELACIONADOS CON LA ETAPA DE CONVERSIÓN**

| <b>Reto</b>                                                                                                                              | <b>Resultado esperado</b>                                                                                                                                                                                | <b>Estrategia</b>                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Desarrollar un catálogo de tecnologías de biogás aplicables a nivel nacional.                                                            | Contar con información para la toma de decisiones a los interesados en la bioenergía y generadores de residuos a cualquier escala.                                                                       | Desarrollo con capacidades nacionales o en colaboración con entidades en el ámbito internacional. |
| Diseñar e implementar un programa para la instalación de plantas de biogás en diferentes ciudades del país.                              | Aumentar las capacidades tecnológicas nacionales en relación al diseño, construcción y operación de plantas de producción de biogás.                                                                     | Desarrollo con capacidades nacionales                                                             |
| Mejorar las especificaciones nacionales de diseño, construcción y operación de digestores y plantas de digestión anaerobia.              | Contar con las especificaciones que garanticen el correcto funcionamiento de los digestores.<br>Contar con una guía del diseño y construcción de los digestores.                                         | Desarrollo con capacidades nacionales                                                             |
| Desarrollar e implementar sistemas de monitoreo y control automático para mantener un proceso de producción de biogás estable y robusto. | Plantas de biogás operando de forma estable                                                                                                                                                              | Desarrollo con capacidades nacionales                                                             |
| Desarrollar un sistema de monitoreo nacional del desempeño de plantas de biogás                                                          | Un sistema nacional de información del desempeño de las plantas de biogás que sirva como insumo para instalar nuevas plantas.                                                                            | Desarrollo con capacidades nacionales                                                             |
| Mejorar la calidad de los co-productos de la producción de biogás para su uso y disposición.                                             | Lineamientos de calidad de los digestatos.<br>Tecnologías adaptadas/mejoradas para la captura de nutrientes.                                                                                             | Desarrollo con capacidades nacionales                                                             |
| Desarrollar e implementar sistemas de monitoreo, reporte y verificación (MRV) para los proyectos de producción de biogás.                | Contar con sistemas MRV sectoriales y orientados a proyectos de producción de biogás.<br>Contar con mecanismos de seguimiento de los proyectos para la instalación de biodigestores y plantas de biogás. | Desarrollo con capacidades nacionales o en colaboración con entidades en el ámbito internacional. |

Como se puede observar, en general, la estrategia para atender los retos planteados es el desarrollo de recursos disponibles a nivel nacional. Respecto al reto denominado “*Desarrollar e implementar tecnología de digestión anaerobia de acuerdo a las materias disponibles*”, se observa que actualmente existen tecnologías disponibles que pueden ser adquiridas, pero también existen casos de éxito en donde se han adaptado diferentes tecnologías

provenientes de otras industrias para finalmente producir una tecnología ad hoc con las condiciones nacionales. En las secciones siguientes se desarrollan de forma amplia cada reto asociado a la etapa de la cadena de valor denominada “producción” y las acciones prioritarias para su atención.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

**IMAGEN 9. BIODIGESTOR ANAEROBIO**



FUENTE: Agencia Informativa CONACYT. (2015).

### **a) Desarrollar un catálogo de tecnologías de biogás aplicables a nivel nacional**

El desarrollo de un catálogo de tecnologías en biogás aplicables a nivel nacional busca contar con una base de información y experiencias que ayude a abordar los problemas tecnológicos que se presenten o que demanden soluciones asociativas tales como la tipificación y comercialización de la producción. Así también se busca que señale soluciones mediante la experiencia en buenas prácticas tecnológicas y que se incorporen los últimos resultados alcanzados a partir de la investigación realizada en los campos de los productores. En la Tabla 15 se presentan las acciones sugeridas para atender el reto.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2020

**TABLA 15. ACCIONES SUGERIDAS PARA DESARROLLAR UN CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS DE BIOGÁS APLICABLES A NIVEL NACIONAL**

| <b>Acciones sugeridas</b>                                                                                                                                       | <b>Periodo de atención</b> | <b>Participantes clave</b>                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Recopilar casos nacionales e internacionales por tecnología, por materia prima y por beneficios.                                                                | 12 meses                   | SENER, INIFAP, FIRCO, Agencia Danesa de Energía (ADE) y ONG's.          |
| Recopilar información de la tecnología con costos aproximados y eficiencias por materia prima.                                                                  | 12 meses                   | SENER, INIFAP, FIRCO, ADE y ONG's.                                      |
| Definir el enlace de interacción entre los diferentes actores para construir la red de conocimientos buscando con ello la promoción de la producción de biogás. | 12 meses                   | SENER, CRE, SAGARPA, Gobiernos Estatales y Municipales, CFE, y ColDT+i. |
| Actualizar catálogo de tecnologías considerando su nivel de desarrollo y documentación.                                                                         | 12 meses                   | ColDT+i, Industria                                                      |

Como se puede observar, la atención de este reto comprende cuatro acciones prioritarias. La primera y segunda acción corresponde a recopilar casos nacionales e internacionales por tecnología, por materia prima y por beneficios del sector de biogás/biometano así como los datos sobre costos y eficiencias. Las siguientes dos acciones buscan definir los enlaces de interacción y cooperación entre los diferentes actores involucrados en el sector de biogás y la cuarta acción busca actualizar con el CBG las tecnologías que agreguen valor al desarrollo y a la investigación en dicho sector productivo. Todo ello con el fin de

informar del estado actual que guarda el sector, de las experiencias adquiridas durante el desarrollo del mismo; del estado actual del sector productivo, tanto de las materias primas como de las industrias, información sobre los campos potenciales de acción para la adquisición de la materia prima, así como de los vínculos con los sectores involucrados en la cadena de valor del biogás/biometano; buscando el desarrollo y promoción del uso del biogás nacional.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

En la realización de las acciones se visualiza principalmente la participación de INIFAP, FIRCO, las agencias de energía Internacionales, organizaciones no gubernamentales, la CRE, Gobiernos Estatales y Municipales. También se considera importante la participación de la ColDT+i, quien asegurará que los esfuerzos que realicen las diferentes instituciones se lleven a cabo de manera coordinada. Otros actores primordiales en la atención del reto son organismos gubernamentales como SENER, CFE, SAGARPA.

El reto debe atenderse y alcanzar resultados relevantes en el corto plazo, es decir, antes de dos años considerando que inicia a partir de 2018. No obstante, todas las acciones deberán actualizarse de manera continua hasta el 2030.

### **b) Diseñar e implementar un programa para la instalación de plantas de biogás en diferentes ciudades del país**

Actualmente, existen pocas instituciones a nivel nacional con experiencia en la integración de los diferentes elementos que son necesarios para la

operación exitosa de una planta de biogás. La falta de instituciones con experiencia se traduce en el desarrollo de proyectos de corta vida. Con el fin de generar las condiciones que permitan generar conocimiento con mayor profundidad sobre el diseño, construcción y operación de una planta de biogás a gran escala, se propone instalar una planta de digestión anaerobia en una ciudad como parte de un programa piloto. A partir de esta primera experiencia se buscará documentar las actividades críticas para el éxito del proyecto y las potenciales problemáticas técnicas y no técnicas (por ejemplo: suministro periódico de residuos, aceptación social, articulación de los diferentes actores, acceso a fondos, entre otras) asociadas, así como la manera de solucionarlas. El programa piloto deberá considerar la puesta en marcha y operación de la planta, así como los diferentes eslabones de la cadena de valor incluyendo la colecta y logística de materia prima, pretratamiento, conversión, acondicionamiento, y comercialización tanto del gas como del digestato<sup>9</sup>. La planta deberá tener dimensiones industriales con flujos de producción mínimos por día. Para obtener resultados favorables se propone una serie de acciones (Tabla 16).

Fecha de Inicio: 2019

Fecha de término: 2021 (continuo al 2030)

**TABLA 16. ACCIONES SUGERIDAS PARA DISEÑAR E IMPLEMENTAR UN PROGRAMA PARA LA INSTALACIÓN DE PLANTAS DE BIOGÁS EN DIFERENTES CIUDADES DEL PAÍS**

| <i>Acciones sugeridas</i>                                                                                                  | <i>Periodo de atención</i> | <i>Participantes clave</i>                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Establecer los lineamientos generales y elementos clave de un programa piloto para la instalación de una planta de biogás. | 12 meses                   | SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CONAGUA, Administradores de residuos y plantas de tratamiento de aguas residuales, CBG.                    |
| Diseñar, construir y operar una planta de biogás en una ciudad del país (implementación del programa piloto).              | 36 meses (continuo)        | SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CONAGUA, Administradores de residuos y plantas de tratamiento de aguas residuales, CBG.                    |
| Ampliar el programa a otras ciudades considerando los resultados del piloto.                                               | 36 meses                   | SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CONAGUA, Administradores de residuos y plantas de tratamiento de aguas, Gobiernos estatales y municipales. |

<sup>9</sup> El digestato es el subproducto semilíquido resultante de la digestión anaerobia y tiene un uso potencial como fertilizante orgánico.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

Como se puede observar, para solucionar este reto, se plantean tres acciones clave. La primera de ellas consiste en el diseño del programa, en donde se deberán establecer los lineamientos generales, responsabilidades de los diferentes actores, las características con las que debe contar la ciudad para implementar el programa piloto en términos de cantidad de residuos (materia prima), capacidades para la logística y transporte de los residuos, entre otros.

En una segunda etapa, se seleccionará la ciudad o ubicación en la que se construirá la planta. Esta acción es fundamental, ya que de ella derivará la información para replicar el programa. La información que se espera obtener es de tipo técnica y no técnica, ya que la coordinación de los diferentes actores es esencial para el éxito del programa. Adicionalmente, se podrá consultar las experiencias nacionales como fuente de información adicional. Para diseñar e implementar un programa piloto exitoso se requiere de la participación de diferentes dependencias gubernamentales, como son SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CONAGUA y el CBG.

Finalmente, la tercera acción consiste en replicar el programa en otras ciudades. Para ello se

deberán involucrar además de las dependencias antes mencionadas, los gobiernos de los estados y municipios. En este proceso se requiere establecer criterios de selección de las ciudades considerando la información resultante del programa piloto. Los primeros resultados de estas acciones se esperan en el año 2021 aproximadamente, y deberán de continuar durante todo el periodo de planeación considerado.

### c) Mejorar las especificaciones nacionales de diseño, construcción y operación de digestores y plantas de digestión anaeróbicos

Existen especificaciones aplicables para el diseño y construcción de digestores y plantas de digestión anaeróbica; sin embargo, no incluyen la etapa de operación. La inadecuada regulación de la operación de las plantas podría tener implicaciones de seguridad y riesgos al interior y en las comunidades cercanas. Al tratarse de un fluido explosivo es importante ampliar el alcance de las normas existentes. Para atender esta problemática se plantean tres acciones (Tabla 17).

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2021

**TABLA 17. ACCIONES SUGERIDAS PARA MEJORAR LAS ESPECIFICACIONES NACIONALES DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE DIGESTORES Y PLANTAS DE DIGESTIÓN ANAERÓBIA**

| <i>Acciones sugeridas</i>                                                                                 | <i>Periodo de atención</i> | <i>Participantes clave</i>      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Analizar y adaptar la normatividad aplicable de seguridad para la operación de plantas de biogás.         | 12 a 24 meses              | STPS, SENER, SEMARNAT, CoIDT+i  |
| Definir especificaciones técnicas y criterios para diseño, construcción y operación de plantas de biogás. | 12 a 24 meses              | CoIDT+i, EMA, CBG, SENER, STPS. |
| Promover la creación de unidades verificadoras para las plantas de biogás.                                | Más de 36 meses            | EMA, SENER, CoIDT+i             |

La primera acción está enfocada en analizar las normas existentes aplicables de seguridad y operación recomendadas por la Secretaría de Trabajo y Previsión Social y adecuarlas. Para ello se pueden tomar como base las normas implementadas por PEMEX y CFE. Lo anterior es importante para verificar y asegurar que las

normas consideren al biogás y al biometano en su campo de observancia. En este sentido se vuelve importante modificar la normatividad para incluir los procesos de producción, almacenamiento y transporte de biogás.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

La segunda acción busca generar las especificaciones técnicas que puedan ser consideradas en el diseño de nuevos proyectos, además de ser un elemento de referencia para aquellas instituciones que otorgan financiamiento para la instalación de digestores y plantas de digestión como es el caso de FIRCO.

**IMAGEN 10. PLANTA DE BIOGÁS UBICADA EN MILPA ALTA, CIUDAD DE MÉXICO.**



FUENTE: Agencia Informativa CONACYT (2017).

La tercera acción que se propone es promover la creación de unidades verificadoras para biodigestores y plantas de digestión anaerobia. Estas unidades, vigilarán el cumplimiento de las normas correspondientes relacionadas con toda la

cadena de valor de la producción de biogás o biometano. La realización de la acción podría estar a cargo de la SENER e involucrar la participación de otras dependencias como son SAGARPA y SEMARNAT, además de la comunidad de investigación y desarrollo tecnológico.

**d) Desarrollar e implementar sistemas de monitoreo y control automático para mantener un proceso de producción de biogás estable y robusto**

Desde el punto de vista de proceso, el desarrollo de un sistema de monitoreo y control automático es indispensable para mantener una planta de digestión anaeróbica en funcionamiento, así como para garantizar su rendimiento. El contar con un sistema de este tipo se traduce en una producción estable y confiable. En la Tabla 18 se presentan las acciones sugeridas para atender el reto, así como el periodo de atención estimado y los participantes clave para cada una. De las cuatro acciones que se proponen, la primera busca identificar o adecuar los parámetros clave en el proceso de producción así como el desarrollo de la instrumentación requerida para el monitoreo y control del proceso que sean adecuados a las condiciones nacionales.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2021

**TABLA 18. ACCIONES SUGERIDAS PARA DESARROLLAR E IMPLEMENTAR SISTEMAS DE MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO PARA MANTENER UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS ESTABLE Y ROBUSTO**

| <i><b>Acciones sugeridas</b></i>                                                                | <i><b>Periodo de atención</b></i> | <i><b>Participantes clave</b></i>                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Identificar los parámetros clave en el proceso de producción y su instrumentación.              | Continua                          | CONACYT, CBG, CoIDT+i, ONGs.                            |
| Desarrollar y validar modelos matemáticos que permitan el diseño y evaluación de controladores. | 12 a 18 meses                     | CBG, CoIDT+i, ONGs                                      |
| Implementar experimentalmente los esquemas de monitoreo y control.                              | 12 meses                          | SENER, CBG, CoIDT+i, SEMARNAT, SAGARPA                  |
| Implementar las tecnologías desarrolladas en plantas comerciales.                               | 24 meses                          | SENER, CBG, CoIDT+i, productores de biogás, tecnólogos. |

**IMAGEN 11. PLANTA DE DIGESTIÓN ANAEROBIA**



FUENTE: Agencia Internacional de Energía (2016).

La segunda y tercera acción se relacionan con las actividades clave de un sistema de monitoreo y control de una planta, en donde la evaluación y validación tienen un papel relevante. La acción final que se propone consiste en implementar la tecnología desarrollada en plantas y biodigestores de escala comercial.

La estrategia definida para solucionar estos retos será utilizando recursos disponibles a nivel nacional, con la participación de la CoIDT+i, dependencias gubernamentales como son SENER, SAGARPA SEMARNAT, FIRCO y el sector privado.

De ser necesario se podría explorar la necesidad de incluir la participación de organizaciones no gubernamentales y/o agencias internacionales. Los primeros resultados de estas acciones se esperan en el año 2021 aproximadamente.

## e) Desarrollar un sistema de monitoreo nacional del desempeño de plantas de biogás

En el país no se cuenta con un registro nacional de la producción real de biogás, ni de las circunstancias en las que esta se genera. Para la atención de este reto se proponen cuatro acciones, las cuales se presentan de manera consolidada en la Tabla 19.

La primera de ellas consiste en establecer los lineamientos generales del sistema, por ejemplo el alcance del sistema, los responsables de su administración, así como los derechos y obligaciones de cada una de las partes. Además, esta acción también contempla identificar y establecer los parámetros que deben ser monitoreados, los cuales no comprometan la información confidencial de los productores de biogás, pero si reflejar el desempeño de los biodigestores y plantas de digestión anaerobia.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2020

**TABLA 19. ACCIONES SUGERIDAS PARA DESARROLLAR UN SISTEMA DE MONITOREO NACIONAL DEL DESEMPEÑO DE PLANTAS DE BIOGÁS**

| <i>Acciones sugeridas</i>                                                                              | <i>Periodo de atención</i> | <i>Participantes clave</i>                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------|
| Establecer los lineamientos generales del sistema y parámetros que deberán ser monitoreados.           | 6 meses                    | CoIDT+i, SENER, CRE.                           |
| Diseñar los procedimientos, metodologías y herramientas (software) para la medición de los parámetros. | 12 a 24 meses              | CoIDT+i, SENER, CRE                            |
| Crear la plataforma o base de datos donde se consolidará la información.                               | 6 meses                    | CoIDT+i, SENER, CRE, los productores de biogás |
| Implementar el sistema de monitoreo.                                                                   | 12 meses                   | CoIDT+i, SENER, CRE, productores de biogás     |

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

Posteriormente, se deben desarrollar los procedimientos, metodologías así como las herramientas requeridas (software) para la implementación del sistema. Esta acción busca homologar la forma de medir los parámetros, la forma de reportarlos y dotar a los diferentes actores de las herramientas requeridas.

A continuación se debe desarrollar la plataforma donde se recopilará la información de los biodigestores anaerobios y plantas de biogás existentes, la cual debe ser de fácil acceso para los interesados. Finalmente, se debe implementar el sistema y hacer pruebas piloto y los ajustes necesarios para garantizar su correcta operación.

El resultado esperado derivado de la atención de este reto es contar con un sistema de información de la producción de las diferentes plantas de biogás y de biodigestores anaerobios del país. La información podrá ser monitoreada en tiempo real (o en los periodos que se definan) y utilizarse para crear un sistema nacional de información que sea administrado por la SENER y que sirva como insumo para la generación, adecuación y evaluación de políticas públicas en esta materia;

adicionalmente, la información puede ser utilizada por los desarrolladores de proyectos y por la ColDT+i.

La estrategia predominante para atender este reto es el desarrollo con capacidades nacionales y la participación de actores clave como la ColDT+i, productores de biogás, la SENER y la CRE principalmente.

### **f) Mejorar la calidad de los co-productos de la producción del biogás para su uso y disposición**

El acondicionamiento del digestato se lleva a cabo en una fase posterior a la digestión anaerobia. El proceso incluye tanto la recuperación de nutrientes (por procesos de precipitación o *stripping*) como su eliminación (nitrificación y desnitrificación por ejemplo). De manera general, los digestatos requieren de un proceso de acondicionamiento para obtener un producto final que pueda ser utilizado como fertilizante orgánico que mejore los nutrientes del suelo (los procesos de acondicionamiento no descartan la adición directa de nutrientes).

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2024

**TABLA 20. ACCIONES SUGERIDAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LOS CO-PRODUCTOS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA SU USO Y DISPOSICIÓN**

| <b>Acciones sugeridas</b>                                         | <b>Periodo de atención</b> | <b>Participantes clave</b>            |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Establecer los lineamientos de calidad para el digestato.         | 48 meses                   | SEMARNAT, SAGARPA, Industria, ColDT+i |
| Desarrollar proyectos demostrativos para aprovechar el digestato. | 36 meses                   | ColDT+i, Industria                    |
| Adaptar la tecnología para la captura de nutrientes.              | 60 meses                   | ColDT+i, Industria                    |

Con la atención a este reto se busca contar con parámetros y metodologías de calidad de los digestatos, así como con pruebas de sus efectos en suelos. Con lo anterior se apoyaría además la creación del mercado de los co-productos del biogás. Para ello se proponen tres acciones (Tabla 20).

La primera y segunda acción se refieren a la caracterización del digestato; la tercera se refiere

a la adaptación o desarrollo de tecnología de proceso para su acondicionamiento.

La primera acción corresponde al establecimiento de los lineamientos de calidad para el digestato en relación al contenido de nutrientes y niveles máximos de microorganismos presentes. La segunda acción considera el desarrollo de proyectos demostrativos con la finalidad de aprovechar los digestatos. Estas acciones tienen

como objetivo mejorar la calidad del digestato para aumentar su valor y con ello su utilización y/o disposición final. Por lo anterior es necesario el desarrollo e implementación de tecnología adecuada a los factores de calidad necesarios como por ejemplo el contenido de agua, sólidos suspendidos, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno total, relación carbono/nitrógeno, actividad biológica y toxicidad, entre otros.

En la realización de las acciones se visualiza principalmente la participación de la Industria y la ColDT+i, incluyendo al CBG, quién podría coordinar los esfuerzos que realicen las diferentes instituciones. Otros actores importantes en la atención del reto son organismos gubernamentales como SEMARNAT y SAGARPA. La atención del reto debe iniciar de manera inmediata a fin de alcanzar resultados relevantes en el mediano plazo, es decir, en los próximos siete años. La primera acción debe iniciar en 2018 y terminar en 2022. Para la segunda se considera su inicio en 2020 y su conclusión en 2022 y la tercera inicia en 2020 y termina en 2024, de hecho existe la posibilidad de traslape en la secuencia de ejecución de las acciones.

Como base para la solución del reto se requiere de información de proyectos a escala laboratorio e información sobre tecnología comercialmente disponible al respecto.

### **IMAGEN 12. PLANTA PILOTO DE DIGESTION ANAEROBIA A PARTIR DE VINAZAS TEQUILERAS DE CUCEI-UDEG**



FUENTE: Clúster Biocombustibles Gaseosos.

### **g) Desarrollar e implementar sistemas de monitoreo, reporte y verificación (MRV) para los proyectos de producción de biogás**

Los sistemas medición, reporte y verificación (MRV) encuentran su origen en la necesidad de asegurar la efectividad de las acciones voluntarias de mitigación del cambio climático denominadas NAMAs (*Nationally Appropriate Mitigation Actions*), acciones seguidas particularmente por los países en desarrollo que son sujeto de apoyo financiero (USAID-Mexico, 2014).

Es importante destacar que el proceso de MRV puede ser aplicado a todas las actividades relacionadas con la mitigación de gases de efecto invernadero y mitigación del cambio climático, incluyendo la producción de biocombustibles.

En cuanto a la producción de biogás, actualmente no se cuenta con sistemas MRV aplicables a los proyectos; en consecuencia, tampoco se cuenta con una entidad encargada de normalizarlos y administrarlos. En este sentido, se requiere contar con sistemas MRV para la producción de biogás.

Para la atención de este reto se proponen tres acciones prioritarias (Tabla 21) las cuales buscan implementar un sistema MRV que considere toda la cadena de valor para la producción de biogás, con el fin de garantizar la eficacia y continuidad de los proyectos; particularmente aquellos que han sido objeto de apoyo financiero como es el caso del programa para la instalación de biodigestores apoyada por FIRCO.

Como se puede observar, para abordar el reto se identifican tres acciones. Inicialmente se plantea establecer esquemas MRV acordes al producto que se aplique. En estos esquemas se definirá el qué, quién, cómo, cuándo y dónde se va a medir, reportar y verificar la información sobre los proyectos de producción de biogás. Esto permitirá llevar una estadística sobre lo que está sucediendo en el sector con respecto a los proyectos de biogás o biometano.

# MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2021

**TABLA 21. ACCIONES SUGERIDAS PARA DESARROLLAR E IMPLEMENTAR SISTEMAS DE MONITOREO, REPORTE Y VERIFICACIÓN PARA LOS PROYECTOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**

| <i>Acciones sugeridas</i>                                                              | <i>Periodo de atención</i> | <i>Participantes clave</i>                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Establecer esquemas de MRV adecuadas al producto.                                      | 24 meses                   | SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CRE, PEMEX, CONAGUA, Industria, COIDT+I                                    |
| Desarrollar metodologías específicas y definir criterios para la conformación del MRV. | 36 meses                   | SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CRE, PEMEX, CONAGUA, Industria, COIDT+i, gobiernos estatales y municipales |
| Implementar los sistemas MRV.                                                          | 36 meses                   | Gobiernos estatales y municipales, CFE, industria y la COIDT+i                                       |

Con base a estos esquemas se desarrollarán metodologías específicas y se definirán criterios para la medición, reporte y verificación de la información. Una vez que se cuente con el marco metodológico, se requerirá implementar los procesos MRV y mantener una mejora continua de los mismos. Es importante destacar que estas acciones pueden visualizarse como un programa de seguimiento a los proyectos para la producción de biocombustibles en general.

La estrategia para desarrollar este reto, es con recursos nacionales donde participan principalmente organismos gubernamentales como la SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CRE, PEMEX, CFE, CONAGUA, gobiernos estatales y municipales, así como la industria y la COIDT+i.

Estas acciones se deben iniciar a la brevedad, de tal forma que se obtengan avances significativos en

los próximos tres años. Se considera que el desarrollo de los sistemas podrá realizarse con recursos nacionales o colaboración con entidades extranjeras que cuenten las mejores prácticas y metodologías necesarias para la implementación de los sistemas.

## I. d Acondicionamiento

El acondicionamiento de biogás para obtener un gas con características similares al gas natural representa un importante reto tecnológico para la producción en México ya que, aunque existen tecnologías comerciales para este fin, los proveedores y tecnología son de origen extranjero, lo que implica un alto costo en su adquisición y mantenimiento, y los equipos disponibles no están normalizados a las condiciones del país. En la Tabla 22 se presenta el reto identificado como prioritario en la etapa de acondicionamiento.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

**TABLA 22. RETOS RELACIONADOS CON LA ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO**

| <b>Reto</b>                                                                                   | <b>Resultado esperado</b>                                                                                                         | <b>Estrategia</b>                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Desarrollar, adecuar e integrar tecnologías para el acondicionamiento del biogás a biometano. | Contar con tecnologías normalizadas y adecuadas a las condiciones nacionales, preferentemente con contenido tecnológico nacional. | Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional. |

En términos generales la estrategia para abordar este reto sería a través del desarrollo o adaptación de tecnología con recursos disponibles a nivel nacional, siendo el CBG un actor clave en la atención de este reto. A continuación se describen a detalle las acciones clave definidas para atender el reto identificado para la etapa de acondicionamiento.

### **a) Desarrollar, adecuar e integrar tecnologías para el acondicionamiento del biogás a biometano**

Si bien se conocen las diferentes alternativas tecnológicas para reducir el contenido de bióxido de carbono y otros compuestos en las corrientes de biogás para obtener biometano de alta calidad, los procesos están diseñados para ciertas condiciones de operación que no necesariamente se podrían observar en México. En este sentido, las

acciones tienen por propósito contar con tecnologías para el acondicionamiento de biogás a biometano, normalizadas y adecuadas a las condiciones del país, preferentemente con un alto contenido tecnológico nacional. En la Tabla 23 se presentan las acciones sugeridas para atender este reto.

Como se puede observar, inicialmente, se plantea identificar, evaluar y validar tecnologías de acondicionamiento de biogás a biometano aplicables a las condiciones del país y a los diferentes sectores involucrados. Con la información obtenida se deberá generar un catálogo de las tecnologías factibles para usarse a nivel nacional, así como establecer los criterios para su implementación. Como resultado de las dos primeras acciones se contará con un marco de referencia tecnológico del acondicionamiento de biogás a biometano.

Fecha de Inicio: 2020

Fecha de término: 2026

**TABLA 23. ACCIONES SUGERIDAS PARA DESARROLLAR, ADECUAR E INTEGRAR TECNOLOGÍAS PARA EL ACONDICIONAMIENTO DEL BIOGÁS A BIOMETANO**

| <b>Acciones sugeridas</b>                                                                                                     | <b>Periodo de atención</b> | <b>Participantes clave</b>    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Identificar, evaluar y validar tecnologías aplicables adecuadas a nivel nacional para el sector.                              | 24 meses                   | CBG                           |
| Establecer un padrón/inventario de tecnologías y criterios de implementación.                                                 | 24 meses                   | CBG                           |
| Establecer un programa de desarrollo de capacidades para usuarios, tomadores de decisión e implementadores de la tecnología.  | 24 meses                   | SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CRE |
| Desarrollar proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación de tecnologías factibles a implementar en México. | 60 meses                   | SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CRE |

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

---

La tercera acción considera establecer un programa de desarrollo de capacidades para usuarios, tomadores de decisión e implementadores de la tecnología. Con esto se contará con un marco de referencia de recursos humanos de las tecnologías de acondicionamiento de biogás a biometano.

Finalmente, se requiere desarrollar proyectos de investigación y desarrollo de tecnologías factibles a implementar en México. La idea es que se pueda contar con equipos de demostración para el acondicionamiento de biogás que permitan comprobar la factibilidad técnico-económica de las

tecnologías de acondicionamiento bajo diferentes condiciones de operación.

La estrategia para desarrollar este reto es con el uso de recursos y capacidades técnicas disponibles en el ámbito nacional, donde uno de los participantes principales será la ColDT+i; el CBG podría coordinar los esfuerzos que realicen las diferentes instituciones. Otros participantes importantes en la atención del reto son organismos gubernamentales como SENER y CONACYT quienes podrían apoyar los proyectos e iniciativas; además de SEMARNAT y SAGARPA.

## II. Acciones habilitadoras para fortalecer el desarrollo de la industria: barreras

Un aspecto fundamental para lograr la consolidación de la industria de biogás hacia el año 2030 es la definición de acciones habilitadoras orientadas a solucionar barreras de carácter no técnico que impiden su crecimiento. En términos generales, las barreras que limitan la 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., visual, acústica, uso

de la tierra, ecosistemas naturales, áreas naturales protegidas, activos históricos y culturales, etc. Algunas veces estos impactos pueden constituir el mayor conflicto con otros intereses. Estos impactos pueden ser reducidos por el uso de medios técnicos.

Una etapa importante en el desarrollo de una industria es la identificación de las barreras no técnicas, porque a partir de ellas es factible proponer acciones que mitiguen o anulen sus efectos, de tal forma que se habilite y soporte el desarrollo de la industria en cuestión. En el caso particular de la industria de biogás, las principales barreras observadas son de tipo regulatorio, económico, social y de recursos humanos. A continuación se presentan las barreras identificadas en cada ámbito y las acciones propuestas para su mitigación.

### II. a Ámbito regulatorio

Se identifican dos barreras prioritarias de tipo regulatoria que limitan el crecimiento de la industria de producción de biogás y biometano en México:

1. Falta de cooperación entre los generadores de residuos para concentrar y mejorar la calidad de la materia prima para la producción de biogás.
2. Falta de normas a nivel nacional para regular la producción y manejo de biogás.

Para superar las barreras identificadas se proponen las siguientes acciones habilitadoras:

- Promover la cooperación entre los generadores de residuos para concentrar y mejorar la calidad de la materia prima para la producción de biogás.
- Desarrollar normas nacionales para regular la producción y manejo de biogás o adecuar aquellas que son aplicables al metano.

A continuación se describen las actividades sugeridas para cada una de las acciones habilitadoras propuestas.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

### a) Promover la cooperación entre los generadores de residuos para concentrar y mejorar la calidad de la materia prima para la producción de biogás

Un aspecto que limita las acciones tendientes a realizar una gestión adecuada de los desechos utilizados como materia prima para la producción de biogás es la falta de cooperación entre los generadores de residuos para concentrar y mejorar la calidad de la materia prima para su conversión y aprovechamiento. Mientras no existan los incentivos que impulsen a los generadores de desechos a separarlos y

concentrarlos para la producción de biogás, los avances que se logren en las acciones estratégicas serán limitados. Por lo tanto, es fundamental que existan acuerdos de cooperación entre generadores de residuos y productores de biogás, mecanismos y programas de inspección que aseguren el cumplimiento de la normatividad existente o nueva que se proponga en esta vertiente. Actualmente existe normatividad al respecto, pero no se cuentan con los recursos para asegurar que se cumpla. En este sentido, la actividad de aplicación de la normatividad es considerado permanente. La Tabla 24 presentan a manera de resumen las actividades sugeridas para esta llevar a cabo esta acción habilitadora.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2022 (continua)

**TABLA 24. ACTIVIDADES SUGERIDAS PARA PROMOVER LA COOPERACIÓN ENTRE LOS GENERADORES DE RESIDUOS PARA CONCENTRAR Y MEJORAR LA CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**

| <i>Actividades sugeridas</i>                                                                                                 | <i>Tiempo estimado para su solución</i> | <i>Principales actores involucrados</i>                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Implementar incentivos que impulsen a los generadores de desechos a una cooperación con la producción de biogás y biometano. | 36 meses                                | SENER, SEMARNAT, SAGARPA, Industria, CBG, Gobierno Estatal y Municipal. |
| Aplicar la normatividad vigente que motive y obligue a los generadores a realizar una gestión adecuada de sus desechos.      | 60 meses (continua)                     | SENER, CRE, SEMARNAT, SHCP, Gobierno Estatal y Municipal.               |

### a) Desarrollar normas nacionales para regular la producción y manejo de biogás o adecuar aquellas que son aplicables al metano

En México no se cuentan con normas para biogás en las diferentes etapas de la cadena de valor. Por lo tanto, se requiere inicialmente emitir una norma sobre biogás que defina de manera precisa el concepto de biogás y el de biometano, conceptos que muchas veces son confundidos por los diferentes actores de la cadena de valor

En el caso del biogás para autoconsumo es necesario generar especificaciones y prácticas recomendadas para su manejo. Respecto al biometano, se pueden adecuar aquellas normas que son aplicables al gas natural, dado que su

composición es prácticamente la misma. La normatividad deberá establecer las especificaciones relacionadas con la composición y límites máximos de impurezas del gas de origen biológico. Además, dependiendo si éste se integra a la red de gas natural o se le da otro uso final, se tendrán que establecer especificaciones de la calidad requerida y las normas de seguridad respectivas.

Aunado a lo anterior, se requiere compatibilizar las normas aplicables a la logística de distribución de gas natural al manejo de biometano, incluyendo aspectos de seguridad, almacenamiento, inyección a la red de ductos, transporte y uso por citar algunos. La Tabla 25 presenta en resumen las actividades sugeridas para llevar a cabo esta acción habilitadora.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2020

**TABLA 25. ACTIVIDADES SUGERIDAS PARA DESARROLLAR NORMAS NACIONALES PARA REGULAR LA PRODUCCIÓN Y MANEJO DE BIOGÁS O ADECUAR AQUELLAS QUE SON APLICABLES AL METANO**

| <i>Actividades sugeridas</i>                                                                | <i>Tiempo estimado para su solución</i> | <i>Principales actores involucrados</i>            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Generar especificaciones y prácticas recomendadas para el manejo de biogás.                 | 36 meses                                | SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CRE, CBG, PEMEX, CONAGUA |
| Emitir una norma sobre las especificaciones de biometano en función de sus diferentes usos. | 36 meses                                | SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CRE, CBG, PEMEX, CONAGUA |
| Homologar estándares y normas de seguridad aplicables al gas natural con el biometano.      | 36 meses                                | SENER, SEMARNAT, SAGARPA, CRE, CBG, PEMEX, CONAGUA |

## II. b Ámbito económico

Se identifican tres barreras prioritarias de tipo económico que limitan el crecimiento de la industria de producción de biogás y biometano en México:

1. Falta de una estrategia interinstitucional orientada a difundir los esquemas de financiamiento disponibles para el desarrollo de proyectos de producción de biogás.
2. Limitado aprovechamiento económico de co-productos en la producción de biogás.
3. Falta desarrollar el mercado de biometano.

Para superar las barreras identificadas se proponen las siguientes acciones habilitadoras:

- Desarrollar una estrategia interinstitucional orientada a difundir los esquemas de financiamiento disponibles para proyectos de producción de biogás.
- Mejorar el aprovechamiento económico de co-productos en la producción de biogás.
- Impulsar el desarrollo del mercado de biometano.

A continuación se describen las actividades sugeridas para cada una de las acciones habilitadoras propuestas.

### a) Desarrollar una estrategia interinstitucional orientada a difundir los esquemas de financiamiento disponibles para proyectos de producción de biogás

Un aspecto que limita el incremento de la producción de biogás en México está relacionado con la falta de una estrategia interinstitucional orientada a difundir los esquemas de financiamiento disponibles para el desarrollo de proyectos de producción de biogás. Actualmente existen diferentes esquemas de financiamiento a nivel federal que apoyan el desarrollo de proyectos de producción de biogás. Sin embargo, éstos no se aprovechan ampliamente por los gobiernos estatales y municipales e inversionistas privados. Esta situación tiene su origen en dos razones principales. La primera está asociada al desconocimiento del objetivo, alcance y características de los diferentes esquemas de financiamiento disponibles a nivel federal. La segunda, está relacionada con el desconocimiento de los requisitos y procedimientos administrativos a cumplir para acceder a los diferentes esquemas de financiamiento del gobierno federal.

La Tabla 26 presenta a manera de resumen las actividades sugeridas para desarrollar una estrategia interinstitucional orientada a difundir los esquemas de financiamiento disponibles para impulsar el desarrollo de proyectos de biogás.

La primera actividad considera realizar un inventario de los esquemas de financiamiento que ofrecen entidades nacionales e internacionales

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

aplicables para el desarrollo de proyectos de producción de biogás. Esta acción permitirá tener un conocimiento integral de las entidades que presentan programas financieros para proyectos de producción de biogás. Dicha información será de interés para el CBG, SENER, Gobiernos Estatales y municipales, así como para inversionistas privados.

La segunda actividad debe estar orientada a analizar los diferentes esquemas de

financiamiento identificados. El entendimiento de las características de cada esquema de financiamiento permitirá desarrollar propuestas de flexibilización de dichos esquemas, en el caso de los ofrecidos por entidades nacionales, o bien propuestas orientadas a crear programas de financiamiento que consideren las particularidades de los proyectos de producción de biogás y biometano.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2019

**TABLA 26. ACTIVIDADES SUGERIDAS PARA DESARROLLAR UNA ESTRATEGIA INTERINSTITUCIONAL ORIENTADA A DIFUNDIR LOS ESQUEMAS DE FINANCIAMIENTO DISPONIBLES PARA PROYECTOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**

| <i>Actividades sugeridas</i>                                                                                                                                                       | <i>Tiempo estimado para su solución</i> | <i>Principales actores involucrados</i>                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Identificar los esquemas de financiamiento para el desarrollo de proyectos de producción de biogás que ofrecen entidades nacionales e internacionales.                             | 6 meses                                 | SENER, FIRCO y Banca de desarrollo                                                                 |
| Analizar los diferentes esquemas de financiamiento disponibles para proyectos de producción de biogás.                                                                             | 6 meses                                 | SENER, FIRCO y Banca de desarrollo, ColDT+i.                                                       |
| Realizar foros de difusión enfocados en la presentación de los mecanismos de financiamiento disponibles para apoyar proyectos de producción de biogás a nivel estatal y municipal. | 12 meses                                | SENER, FIRCO, Banca de desarrollo, SAGARPA, SEMARNAT, ColDT+i y Gobiernos Estatales y Municipales. |

La tercera actividad propone realizar foros de difusión enfocados en la presentación de los mecanismos de financiamiento disponibles para apoyar proyectos de producción de biogás. Esta actividad implicará llevar a cabo una coordinación

a nivel interinstitucional para difundir los mecanismos de financiamiento y conocer las propuestas de flexibilización o creación de programas de financiamiento desarrollados por parte de las organizaciones públicas y privadas.

## b) Mejorar el aprovechamiento económico de co-productos en la producción de biogás

Un aspecto que limita el interés de los inversionistas en el sector de producción de biogás es el bajo aprovechamiento económico de los subproductos de los digestores. Los subproductos pueden tratarse para ser utilizados como

fertilizantes y abonos, y su comercialización puede mejorar la rentabilidad de los proyectos de inversión. Para comercializar estos co-productos se requiere generar conocimiento adicional sobre su manejo y características, además de informar al sector agrícola y comunidades rurales de los beneficios de la aplicación de los digestatos en la agricultura. La Tabla 27 presenta a manera de resumen las actividades sugeridas para llevar a cabo esta acción habilitadora.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2022

**TABLA 27. ACTIVIDADES SUGERIDAS PARA MEJORAR EL APROVECHAMIENTO DE CO-PRODUCTOS EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**

| <i>Actividades sugeridas</i>                                                                             | <i>Tiempo estimado para su solución</i> | <i>Principales actores involucrados</i>              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Capacitar al sector agrícola sobre los beneficios económicos de la aplicación de los digestatos y lodos. | 60 meses                                | SEMARNAT, SAGARPA, SSA, Gobierno Estatal y Municipal |
| Interesar a inversionistas en el negocio de la comercialización de los co-productos (digestatos).        | 48 meses                                | SENER, SAGARPA, CoIDT+i.                             |

## c) Impulsar el desarrollo del mercado de biometano

Actualmente no existe un mercado de biometano en México. Dentro de las razones están la falta de certidumbre en su costo de producción y la inexistencia de incentivos que promuevan su comercialización o uso. En consecuencia, no existen condiciones atractivas que promuevan la inversión de capital en proyectos de biometano. Para desarrollar el mercado de biometano es necesario establecer una política clara de incentivos para proyectos de producción de biometano. La Tabla 28 muestra en resumen las actividades sugeridas para impulsar el desarrollo del mercado de biometano.

Existen dos líneas de acción diferentes en los proyectos de biogás. La primera se relaciona con las plantas de autoconsumo que contribuyen a la generación distribuida de energía eléctrica y la segunda con las plantas cuyo enfoque es la comercialización de biogás o biometano.

En primer lugar es necesario ampliar y asegurar una producción estable de biogás a nivel nacional, particularmente para fines de autoconsumo en plantas de generación de energía eléctrica. Actualmente existen en México plantas de este tipo; no obstante, aún existe un amplio potencial de producción de biogás en todo el país que no ha sido aprovechado. La transición a la venta de biogás o biometano se daría de manera posterior al desarrollar y fortalecer la infraestructura para la producción y uso de biogás.

Otra acción identificada, es generar estrategias de mercado en función de la capacidad de las plantas de biogás y de los límites inferiores de generación de energía que hacen a un proyecto de biogás/biometano rentable.

Se estima que una planta con capacidad de procesamiento de 100 ton/día de materia orgánica puede resultar rentable para la venta de biometano. Estos volúmenes de materia prima pueden provenir de la industria alimentaria,

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

agroindustria y plantas de tratamiento de aguas. También se puede hablar de proyectos para el procesamiento de residuos orgánicos, los cuales serían rentables por ejemplo en poblaciones con más de 100,000 habitantes (residuos urbanos) o en las cercanías de ranchos ganaderos que concentren más de 500 cabezas de ganado (residuos pecuarios).

Para poder hacer una evaluación técnico-económica de los proyectos de biometano de una manera precisa se requiere mejorar y difundir la aplicación de simuladores disponibles para este propósito.

También es necesario revisar y adecuar los estándares, normas, criterios de diseño y procedimientos aplicables al gas natural que también puedan ser aplicables al biometano. Con esta acción se busca que el biometano se pueda integrar a la red de ductos e infraestructura de almacenamiento de gas natural existente.

Finalmente, se propone generar una iniciativa para promover el uso del biometano en poblaciones pequeñas. La idea es substituir la demanda de gas natural, electricidad de la red o combustibles para los vehículos. El inventario que se propone realizar como parte de la estrategia nacional de manejo de residuos serviría como base para conocer las poblaciones que tienen potencial para participar en esta iniciativa.

Fecha de Inicio: 2020

Fecha de término: 2030

**TABLA 28. ACTIVIDADES SUGERIDAS PARA IMPULSAR EL DESARROLLO DEL MERCADO DE BIOMETANO**

| <i>Actividades sugeridas</i>                                                                                                                 | <i>Tiempo estimado para su solución</i> | <i>Principales actores involucrados</i>                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Asegurar una producción estable de biogás para que sea factible generar un mercado de biometano.                                             | Continua                                | SENER, CRE, SEMARNAT, SAGARPA, CBG, PEMEX, CONAGUA      |
| Desarrollar estrategias de mercado en función de la capacidad de las plantas de biogás y de los límites inferiores de generación de energía. | Continua                                | SENER, CRE, SEMARNAT, SAGARPA, CBG, CFE, PEMEX, CONAGUA |
| Mejorar y difundir la aplicación de los simuladores que permitan evaluar técnica y económicamente los proyectos de biogás y biometano.       | Continua                                | Industria, ColDT+i                                      |
| Compatibilizar el biometano para incorporarlo a la red de gas natural.                                                                       | Continua                                | Industria, PEMEX                                        |
| Promover en los municipios el uso del biometano, sustituyendo el gas natural, la electricidad o los combustibles vehiculares fósiles.        | 48 meses                                | SENER, CRE, CONAGUA, Gobiernos municipales.             |

En la realización de las acciones se visualiza principalmente la participación de la industria y la ColDT+i. Otros actores importantes son organismos gubernamentales como SENER, CRE, CFE, CENACE y PEMEX, entre otros.

## II. c Recursos humanos

Se identifican dos barreras prioritarias relacionadas con los recursos humanos que limitan el crecimiento de la industria de biogás en México:

1. Falta de grupos de especialistas interdisciplinarios que participen en el desarrollo de proyectos de producción de biogás y biometano viables a nivel técnico y económico.
2. Falta desarrollar recursos humanos especializados.

Para superar las barreras identificadas se proponen las siguientes acciones habilitadoras:

- Conformar grupos de especialistas interdisciplinarios que participen en el desarrollo de proyectos de producción de biogás y biometano.
- Fomentar el desarrollo de recursos humanos especializados.

A continuación se describen las actividades sugeridas para cada una de las acciones.

### a) Conformar grupos de especialistas interdisciplinarios que participen en el desarrollo de proyectos de producción de biogás y biometano

Un aspecto que limita la producción de biogás en México es la falta de grupos de especialistas interdisciplinarios que participen en el desarrollo de proyectos de producción de biogás viables a nivel técnico y económico. Actualmente, la falta de especialistas interdisciplinarios en el desarrollo de este tipo de proyectos impide identificar y analizar los aspectos que son esenciales para garantizar la viabilidad técnica y económica, y por ende, obtener el financiamiento requerido para su ejecución. La Tabla 29 muestra las actividades sugeridas para conformar este grupo de especialistas.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2021

**TABLA 29. ACTIVIDADES SUGERIDAS PARA CONFORMAR GRUPOS DE ESPECIALISTAS INTERDISCIPLINARIOS QUE PARTICIPEN EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOMETANO**

| <i>Actividades sugeridas</i>                                                                                                                                    | <i>Tiempo estimado para su solución</i> | <i>Principales actores involucrados</i> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Definir el perfil de los especialistas requeridos en el desarrollo de proyectos de producción de biogás.                                                        | 3 meses                                 | Industria, CoIDT+i, CONOCER, SEP        |
| Identificar especialistas en entidades gubernamentales, empresas y asociaciones interesados en colaborar en el desarrollo de proyectos de producción de biogás. | 6 meses                                 | SENER, CONACYT, CoIDT+i                 |
| Definir y ejecutar esquemas de capacitación para los grupos de especialistas que participarán en el desarrollo de proyectos de producción de biogás.            | 30 meses                                | CoIDT+i, SEP, CONACYT, CONOCER          |

La primera actividad sugerida es definir el perfil de los especialistas requeridos en el desarrollo de proyectos de producción de biogás en términos de conocimientos y experiencia requerida.

La segunda actividad propone identificar especialistas interesados en colaborar en el

desarrollo de proyectos de producción de biogás y biometano. Esta acción permitirá crear una red de especialistas que participen en el desarrollo de proyectos productivos a nivel nacional.

La tercera actividad propone definir y ejecutar esquemas de capacitación para los grupos de

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

especialistas que participarán en el desarrollo de proyectos de producción de biogás. Esta acción permitirá estandarizar los conocimientos y experiencia requerida en el desarrollo de proyectos de producción de biogás y biometano.

### b) Fomentar el desarrollo de recursos humanos especializados

En la actualidad, existen pocos e incipientes programas educativos enfocados a los bioenergéticos y personal limitado para impartirlos. Asimismo, se requiere un mayor número de personal calificado en diferentes niveles de conocimiento, desde el nivel técnico hasta posgrado.

La Tabla 30 presenta las actividades sugeridas para fomentar el desarrollo de recursos humanos especializados. Cabe señalar que la acción habilitadora se considera continua, con ciclos de revisión y actualización cada 4 años

Para atender la falta de personal calificado capaz de acelerar el desarrollo de la industria de producción de biogás en el país, es necesario establecer un programa integral para desarrollar especialistas en el corto, mediano y largo plazo, quienes además de adquirir conocimientos técnicos deberán desarrollar habilidades de emprendimiento empresarial.

Este programa consiste en atacar a diferentes niveles el desarrollo de recursos humanos, es decir, capacitar y actualizar técnicos e ingenieros; con lo que se podrá contar con personal capacitado para la operación y mantenimiento en todos los procesos involucrados en la producción de biogás y biometano. Asimismo, se requiere crear y fortalecer grupos de investigación y desarrollo especialistas técnicos en cada una de las etapas de la cadena de valor de producción de biogás. Finalmente, es necesario fortalecer la capacitación de profesionales con otras especialidades, como son la administración de proyectos, leyes, ciencias sociales y administrativas, ingeniería química y civil y finanzas por citar solo algunas.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2021 (continuo al 2030)

**TABLA 30. ACTIVIDADES SUGERIDAS PARA FOMENTAR EL DESARROLLO DE RECURSOS HUMANOS ESPECIALIZADOS**

| <i>Actividades sugeridas</i>                                                                                                                                        | <i>Tiempo estimado para su solución</i> | <i>Principales actores involucrados</i> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Capacitar y actualizar técnicos e ingenieros en mantenimiento y operación.                                                                                          | Continua                                | CoIDT+i, Industria                      |
| Fortalecer a los grupos de investigación a nivel especialidad y posgrado.                                                                                           | Continua                                | SENER, CONACYT                          |
| Fortalecer la capacitación de cuadros complementarios: gestores de recursos, abogados, ciencias sociales y administrativas, ingenieros de proyectos, finanzas, etc. | Continua                                | Industria, CoIDT+i                      |

## II. d Ámbito social

Se identifican tres barreras sociales que limitan el crecimiento de la industria de producción de biogás en México:

1. Falta de sensibilidad hacia el problema ambiental que ocasiona no disponer los residuos adecuadamente.
2. Falta de conocimiento de los beneficios sociales del aprovechamiento del biogás.
3. Débil vinculación de la comunidad de investigación y los sectores industriales.

Para superar las barreras identificadas se proponen las siguientes acciones:

- Fomentar la sensibilidad hacia el problema ambiental que ocasiona no disponer los residuos adecuadamente.
- Promover los beneficios sociales del aprovechamiento del biogás.
- Fortalecer los vínculos entre la comunidad de investigación y los sectores industriales.

A continuación se describen las actividades sugeridas para cada una de las acciones habilitadoras propuestas.

## a) Fomentar la sensibilidad hacia el problema ambiental que ocasiona no disponer los residuos adecuadamente

Un aspecto que limita las acciones tendientes a orientar los planes y programas de disposición de residuos hacia la producción de biogás es la falta de sensibilidad hacia el problema ambiental que ocasiona no disponerlos adecuadamente. Mientras no se elaboren campañas de información sobre el uso del biogás y las ventajas de disponer los residuos adecuadamente, los avances que se logren en las acciones estratégicas serán limitados. En la Tabla 31 se presentan las actividades sugeridas para esta acción habilitadora.

En esta acción habilitadora se considera fundamental que existan planes y programas para informar a la población sobre la importancia de reducir el consumo de combustibles fósiles y producir biogás. Se requieren de programas conjuntos que coadyuven a la producción de biogás, ya sea mediante el uso de spots televisivos o bien campañas de difusión en medios masivos.

Es importante señalar que la acción habilitadora se considera continua, con ciclos de revisión y actualización cada 4 años.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2022 (continuo al 2030)

**TABLA 31. ACTIVIDADES SUGERIDAS PARA FOMENTAR LA SENSIBILIDAD HACIA EL PROBLEMA AMBIENTAL QUE OCASIONA NO DISPONER LOS RESIDUOS ADECUADAMENTE**

| <i>Actividades sugeridas</i>                                                              | <i>Tiempo estimado para su solución</i> | <i>Principales actores involucrados</i>                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Implementar campañas de información sobre el uso de biogás.                               | 60 meses                                | SENER, SEMARNAT, SAGARPA, Gobiernos Estatales, Sociedad Civil.        |
| Orientar los planes y programas de disposición de residuos hacia la producción de biogás. | 60 meses                                | Industria, CRE, SENER, FIRCO, banca de desarrollo, SEMARNAT. PROFEPA. |

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

### b) Promover los beneficios sociales del aprovechamiento del biogás

Un aspecto que limita la producción de biogás en México es la falta de una estrategia nacional que promueva los beneficios de su aprovechamiento a nivel estatal y municipal. Esta situación hace necesaria la participación del Gobierno Federal

como promotor del desarrollo de proyectos de producción de biogás a nivel estatal y municipal mediante la realización de campañas de promoción y el establecimiento de fondos para la realización de estudios de factibilidad técnica-económica de los proyectos piloto. En la Tabla 32 se presentan las actividades sugeridas para realizar esta acción.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2021 (continuo al 2030)

**TABLA 32. ACTIVIDADES SUGERIDAS PARA PROMOVER LOS BENEFICIOS SOCIALES DEL APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS**

| <i>Actividades sugeridas</i>                                                                                                            | <i>Tiempo estimado para su solución</i> | <i>Principales actores involucrados</i>                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Identificar y analizar los beneficios del aprovechamiento del biogás a nivel estatal y municipal.                                       | 6 meses                                 | CBG, SENER, FIRCO, SAGARPA, SEMARNAT y CONAGUA.                                     |
| Implementar un programa de difusión de los beneficios del aprovechamiento del biogás orientado a los Gobiernos estatales y municipales. | 42 meses                                | CBG, SENER, FIRCO, SAGARPA, SEMARNAT y CONAGUA y Gobiernos Estatales y Municipales. |

La primera acción considera dar claridad sobre los beneficios reales que ofrece el aprovechamiento del biogás a nivel estatal y municipal. La segunda acción propone la creación de un programa de difusión que promueva los beneficios del aprovechamiento del biogás. Los mecanismos que pueden utilizarse para realizar la difusión pueden ser electrónicos o mediante foros en los que participen autoridades de los gobiernos estatales y municipales.

### c) Fortalecer los vínculos entre la comunidad de investigación y los sectores industriales

Un aspecto que limita las acciones tendientes a imprimir claridad en los esquemas de investigación, que posteriormente podrían derivar en negocios dentro del sector industrial, es la débil vinculación entre la comunidad de investigación y los sectores industriales. Mientras no exista una definición del impacto práctico y económico de los proyectos de desarrollo tecnológico, los avances que se logren en las acciones estratégicas de desarrollo tecnológico en el país podrían ser limitados. La

Tabla 33 presenta las actividades sugeridas para fortalecer los vínculos entre la ColDT+i y los sectores industriales.

Como se puede observar, para favorecer el fortalecimiento de la vinculación entre la comunidad de investigación y la industria es fundamental articular y fortalecer la cadena de valor para la producción del biogás. Dentro de las acciones importantes se encuentra promover la creación de los enlaces y vínculos necesarios para detonar el interés por generar negocios a partir de la producción de biogás. En este proceso de vinculación, la ColDT+i deberá trabajar de manera más activa en el acercamiento con la industria para ofrecer soluciones a problemas técnicos y operativos.

La creación de un catálogo de necesidades tecnológicas orientadas a resolver las principales problemáticas que influyen en los costos de capital y de operación, así como en la competitividad del negocio es indispensable para detonar la identificación de oportunidades de colaboración entre la ColDT+i y la industria.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2021

**TABLA 33. ACTIVIDADES SUGERIDAS PARA FORTALECER LOS VÍNCULOS ENTRE LA COMUNIDAD DE INVESTIGACIÓN Y LOS SECTORES INDUSTRIALES**

| <i>Actividades sugeridas</i>                                                                                                                               | <i>Tiempo estimado para su solución</i> | <i>Principales actores involucrados</i>                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estimar las oportunidades y beneficios de las tecnologías desarrolladas y adaptadas en el CBG para llegar al caso de negocio.                              | 12 meses                                | SENER, CONACYT, SE, CRE, CFE, ColDT+i y ayuda económica internacional.                           |
| Claridad en los esquemas de investigación a negocio y definir cómo los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico impactan en la cadena de valor. | 12 meses                                | SENER, CONACYT, SE, Industria, CBG, Gobierno Estatal y Municipal, ayuda económica internacional. |
| Establecer un ente que sirva de vínculo entre la ColDT+i - Industria.                                                                                      | 12 meses                                | SENER, CONACYT, SE, SEMARNAT, SAGARPA, Industria, CFE, ColDT+i.                                  |
| Implementar los mecanismos de vinculación ColDT+i - Industria.                                                                                             | 36 meses                                | ColDT+i, Industria, SENER, CONACYT y SE.                                                         |

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 Assessment)” en los proyectos de producción y uso de biogás. 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; Santoyo-Castelazo et al., 2014; European Commission, 2016; US DOE, 2017).

## Diagrama

El mapa de ruta que se presenta a continuación permite visualizar las principales acciones por realizar en el periodo 2018–2030 para impulsar el desarrollo de la industria biogás en México. El mapa está compuesto por una serie de capas (o carriles) que relacionan en el tiempo diversos aspectos como son metas, impulsores, materias primas, retos y acciones.

En la capa superior se indican las metas de capacidad instalada en el escenario de referencia 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 biogás. Se estima que para el año 2024 se podría alcanzar una capacidad instalada en el rango de 60 a 100 Mm<sup>3</sup> anuales; mientras que para el año 2030, la capacidad instalada podría crecer hasta superar los 200 Mm<sup>3</sup> por año.

En la capa subsecuente se indican impulsores que favorecen el desarrollo de la industria de biogás. Los principales impulsores que se identifican son cuatro:

1. Aprovechar los residuos orgánicos generados por las actividades humanas;
2. Disminuir la contaminación de suelos y mantos freáticos así como el desfogue de biogás;
3. Generar ahorros económicos para los productores agropecuarios; y
4. Diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de fuentes fósiles.

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 primera instancia, se considera que los residuos provenientes de la industria de alimentos, los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos pueden ser aprovechados en forma inmediata y durante todo el periodo que cubre este mapa. Por otra parte, aunque existe disponibilidad de residuos pecuarios, se considera que su viabilidad de aprovechamiento se podría dar en el mediano y largo plazo debido a su dispersión a lo largo del territorio nacional. Finalmente, en el largo plazo, se estima que los cultivos energéticos, así como residuos agrícolas y forestales podrían sumarse en volúmenes significativos, como insumos en la producción de biogás.

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 biogás. En general, las acciones se orientan a asegurar la disponibilidad de la materia prima, adaptar y /o mejorar las tecnologías para su pretratamiento, mejorar el diseño, construcción y operación de plantas, establecer lineamientos de la calidad de los subproductos y desarrollar sistemas de información.

Finalmente, en la capa inferior se encuentran las acciones habilitadoras que se deben realizar para vencer las barreras de tipo regulatorias, económicas, de recursos humanos y sociales que limitan el desarrollo de la industria de biogás. Si se atienden las acciones habilitadoras y estratégicas en los periodos propuestos, al 2030 México podría contar con una industria de biogás en condiciones de cumplir las metas establecidas en el escenario de referencia.

### Conclusiones y acciones siguientes

La producción de biogás existe en México desde hace más de una década pero la capacidad instalada es aún incipiente si se compara con el potencial de materia que puede ser aprovechado para su producción. El interés por generar proyectos de producción de biogás ha crecido en los últimos cinco años pero aún no es posible hablar de que se ha iniciado la consolidación de la industria.

Los principales retos técnicos 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 investigación y desarrollo, así como representantes de organismos reguladores como la SENER y SAGARPA por mencionar sólo algunos.

Como resultado de los talleres se visualiza que para el año 2030 México contará con una industria de biogás desarrollada con una capacidad instalada de producción anual de 200 a 250 millones de metros cúbicos de biometano equivalente. Esta visión implica una tasa de crecimiento de capacidad anual del 16 al 18%. Comparado con la demanda nacional de gas natural estimada para el año 2030, el volumen de biometano equivalente producido apenas representaría el 0.2% del total.

El crecimiento de la industria al ritmo estimado está sujeto a la atención de una diversidad de retos; no obstante, se identifica que la atención de dos retos es fundamental. Por una parte el diseñar y establecer una estrategia de manejo y disposición de residuos a nivel nacional con miras a su aprovechamiento para la producción de energía en el mediano y largo plazo es esencial. Derivado de la atención de este reto se reducirían los costos de recolección de materia prima con la calidad necesaria para producir biogás y consecuentemente detonar el interés por realizar inversiones de capital para esta actividad.

Por otra parte, el diseño e implementación de programas para la instalación de plantas permitirá ampliar el conocimiento y número de especialistas requeridos para construir y operar plantas de producción de biogás de una manera segura y

sustentable. El resto de los retos identificados tendrían influencia en la rentabilidad de la producción de biogás.

Desde el punto de vista de las barreras que influyen en el crecimiento del sector, los resultados del mapa indican un número de situaciones que quizá tienen un peso más importante que los aspectos técnicos. Los especialistas coinciden en que existen barreras de tipo regulatorio, económico, de recursos humanos y sociales que tienen implicaciones en la ampliación de la capacidad de producción. En particular, la falta de sensibilidad de la sociedad en relación a los problemas ambientales que se generan por no disponer adecuadamente de los residuos (tanto a nivel doméstico como industrial) y la falta de la aplicación de la normatividad existente en la materia, influyen en el aprovechamiento de un volumen importante de residuos con alto valor desde el punto de vista energético.

Las acciones que se proponen y que se explican en el apartado de implementación de la visión, permitirán avanzar y focalizar los esfuerzos a nivel nacional para aprovechar el biogás en el corto y mediano plazo como una fuente importante de energía, particularmente en el sector de generación distribuida de energía eléctrica.

Durante los talleres se cubrieron diferentes aspectos que son necesarios en el desarrollo del sector; no obstante, los retos y barreras que finalmente se abordaron a detalle se derivaron del consenso en relación a su prioridad para detonar el crecimiento de la capacidad instalada de producción de biogás y alcanzar la visión del mapa de ruta. En este sentido, existen temas que si bien son de alguna manera importantes, no fueron abordados a profundidad en los talleres. Ejemplo de ello es el tema de las medidas de seguridad que deben seguir en la operación de plantas de biogás. Este tema es de suma importancia debido a las características explosivas del biogás, por lo que desde la fase de diseño de la planta se deben establecer las especificaciones que deben cumplir los equipos e instalaciones. Este, como otros temas que no están incluidos en el mapa de ruta, deberá ser abordado posteriormente en mesas de trabajo específicas con la participación de especialistas.

## Interrelaciones con otros mapas de ruta

El MRT de biogás es uno de los cinco mapas realizados en bioenergía que se realizaron<sup>10</sup> para el FSE; aunque cada uno se realizó de manera independiente presentan aspectos en común, particularmente este mapa de ruta con los correspondientes a biocombustibles sólidos, bioetanol y bioturbosina.

Con relación a la materia prima, los residuos forestales, agrícolas y cultivos energéticos (material lignocelulósico) pueden ser insumos para producir biogás, bioetanol o bioturbosina, o bien ser utilizados de manera directa como combustibles sólidos en la generación de calor. Un reto común entre los mapas tiene que ver con la generación y/o actualización del inventario nacional de disponibilidad de materias primas. En todos los casos no existe certeza del volumen de materia que técnica y económicamente puede ser aprovechado como bioenergético. Adicionalmente, la producción de biogás, al igual que en los casos de bioetanol y bioturbosina, implica el uso de tecnologías de producción existentes pero que aún no han sido probadas en el contexto nacional de manera extensiva, por lo que comparten el reto de su adaptación a las condiciones prevalecientes en el ámbito nacional.

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 una mayor interacción entre los actores principales de la industria: SENER, SEMARNAT, SAGARPA, la

ColDT+i y productores de biogás. La agenda deberá incluir dentro de sus prioridades la definición de la estrategia nacional que deberá seguirse para aumentar la disponibilidad de materia prima de calidad para la producción de biogás así como el plan para su implementación.

El MRT es un instrumento de planeación que ayuda en la definición de acciones concretas que deben implementarse. Para ello, es necesario formar un Grupo de Implementación, el cual deberá estar conformado por representantes de los tres grupos de actores clave: Gobierno, Industria y ColDT+i. Como parte del Gobierno se considera a los principales órganos reguladores del sector, siendo SENER, SEMARNAT, la CRE y SAGARPA los de mayor relevancia. Entre los principales roles de este grupo se tienen la definición e implementación de políticas para fomentar el crecimiento y consolidación de la industria, así como la ejecución de acciones para mejorar su regulación. En lo que respecta al rol de la industria, que en este caso se integra principalmente por los productores, empresas agroindustriales, cámaras y asociaciones, se espera inversión derivada de la puesta en marcha y operación de un mayor número de instalaciones que produzcan biogás, así como la implementación de soluciones provenientes de la comunidad de investigación y desarrollo tecnológico que resuelvan sus necesidades. Finalmente, la comunidad de investigación y desarrollo tecnológico e innovación del país, deberá llevar a cabo proyectos enfocados en resolver los problemas técnicos de la industria que permitan tener una industria competitiva, así como la generación y el fortalecimiento de las capacidades tecnológicas que permitan optimizar la producción y empleo del biogás. En este sentido el rol del Clúster Biocombustibles Gaseosos y del CEMIE-Bio, se vuelve relevante para coordinar la ejecución de los proyectos y acciones que se realicen en el país, a fin de asegurar que sus resultados tengan un mayor impacto en la industria.

Dentro de las funciones del Grupo de Implementación se deberá considerar el establecimiento de un plan de ejecución que considere ciclos de revisión y evaluación de resultados en forma anual. Estos ciclos deben considerar la revisión de los resultados de los proyectos de investigación y desarrollo

<sup>10</sup> Adicional a este mapa de ruta tecnológica se elaboraron los correspondientes a Bioetanol, Bioturbosina, Biocombustibles Sólidos y Biodiésel.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

---

tecnológico, así como la evaluación de la aplicación 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 disponer de indicadores y criterios que permitan medir los avances.

Es importante 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 cada dos años, 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

- Australian Government - DITR. (2001). *Technology Planning for Business Competitiveness: A Guide to Developing Technology Roadmaps*. Industry, Science and Resources.
- CONACYT & SENER. (2014). *Términos de Referencia de la convocatoria de conformación del Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía*.
- Dublein, D. (2008). *Biogas from waste and renewable resources*. Wiley - VCH.
- 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>
- FIRCO. (2011). *Diagnóstico general de la situación actual de los sistemas de biodigestión en México*. México.
- IEA. (2014). *Energy Technology Roadmaps a guide to development and implementation*.
- IEA; FAO. (2017). *How2Guide for Bioenergy Roadmap 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.
- IRRI Mexico & Tetra Tech ES. (2015). *Anaerobic Biodigester Technology in*. United State Agency for Internationak Development (USAID).
- Phaal, R., Farrukh, C., & Probert, D. (2001). *T-Plan the fast start to technology roadmapping. Planning your route to success*. Cambridge UK: University of Cambridge, Institute for Manufacturing.
- REMBIO. (2012). *Producción de biogás en México: estado actual y perspectivas*. México.
- Santoyo-Castelazo, E., & Azapagic, A. (2014). Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. *Journal of Cleaner Production*, 119-138.
- Santoyo-Castelazo, E., Stamford, L., & Azapagic, A. (2014). Environmental implications of decarbonising electricity supply in large economies: The case of Mexico. *Energy Conversion & Management*. 272-291.
- SENER. (2013). *Recursos Renovables para la Producción de Electricidad en México*. México.
- SENER. (2015). *Inventario Nacional de Energías Renovables*. Retrieved from <https://dgel.energia.gob.mx/inere>
- SENER. (2016). *Prospectiva de Energías Renovables 2016 - 2030*. México.
- SENER. (2017). *Reporte de Avance de Energías Limpias 2016*. México.

## MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA BIOGÁS

---

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

SENER-IMP. (2017). *Diagnóstico Tecnológico del Clúster Biocombustibles Gaseosos*. Ciudad de México: IMP.

SENER-IMP. (2017). *Reporte de Inteligencia Tecnológica en Biogás*. Ciudad de México: IMP.

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

USAID-Mexico. (2014). *Nationally appropriate mitigation actions for urban freight logistics in México - Phase 2*.

2017

