

MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

AGENDA DE INNOVACIÓN DE DURANGO

DOCUMENTOS DE TRABAJO

4.1. AGENDA DE ÁREA DE ESPECIALIZACIÓN:

Energías Renovables

Septiembre 2014

Índice

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Introducción a las áreas de especialización seleccionadas por la agenda | 5 |
| 1.1. | Introducción a criterios de priorización utilizados | 5 |
| 1.2. | Aplicación de criterios para la selección de áreas de especialización | 6 |
| 1.3. | Áreas de especialización seleccionadas y gráfico representativo de la agenda | 6 |
| 2. | Caracterización del área de especialización en el estado y en el contexto nacional..... | 8 |
| 2.1. | Breve descripción del área de especialización | 8 |
| 2.1.1. | Definición de Energías Renovables..... | 8 |
| 2.2. | Distribución del área de especialización en México..... | 14 |
| 2.2.1. | Centrales para la generación de electricidad con Energías Renovables | 14 |
| 2.2.2. | Cambios en la legislación para la administración del sistema energético | 15 |
| 2.3. | Posicionamiento del estado en el área de especialización | 18 |
| 2.3.1. | Cadena de valor del sector | 21 |
| 2.4. | Principales tendencias de la innovación en el área de especialización a nivel mundial | 22 |
| 2.4.1. | Desarrollo de materiales | 23 |
| 2.4.2. | Nueva infraestructura | 24 |
| 2.4.3. | Eficiencia de los sistemas | 26 |
| 3. | Breve descripción del ecosistema de innovación en el área de especialización | 28 |
| 3.1. | Mapa de los agentes del ecosistema de innovación | 29 |
| 3.2. | Principales instituciones de educación superior y centros de investigación y sus principales líneas de investigación | 29 |
| 3.3. | Detalle de empresas en el área de especialización | 34 |
| 3.4. | Evolución de apoyos en el área de especialización | 35 |
| 4. | Análisis FODA del área de especialización | 40 |
| 4.1. | Fortalezas..... | 40 |
| 4.2. | Oportunidades..... | 40 |
| 4.3. | Debilidades | 41 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.4. | Amenazas..... | 41 |
| 5. | Marco estratégico y objetivos del área de especialización | 42 |
| 6. | Nichos de especialización | 43 |
| 6.1. | Energía solar | 43 |
| 6.2. | Energía eólica..... | 44 |
| 6.3. | Bioenergía..... | 45 |
| 7. | Caracterización de proyectos prioritarios y plan de proyectos | 46 |
| 7.1. | Descripción de proyectos prioritarios | 46 |
| 7.1.1. | Energía solar | 46 |
| 7.1.2. | Energía eólica..... | 48 |
| 7.1.3. | Bioenergía..... | 51 |
| 7.1.4. | Proyectos complementarios..... | 54 |
| 7.2. | Matriz de proyectos..... | 58 |
| 8. | Referencias | 60 |
| | Apéndices..... | 64 |
| | Apéndice A. Talleres realizados en el área de especialización | 64 |
| | Apéndice B: Análisis del impacto de las tecnologías para generación de energía con fuentes renovables: Resumen de Artículo..... | 67 |

Índice de ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Áreas de especialización seleccionadas en Durango..... | 7 |
| Ilustración 2. Generación de electricidad por tipo de tecnología | 10 |
| Ilustración 3. Proyectos en operación y en construcción para la generación electricidad con Energías Renovables 2012 | 14 |
| Ilustración 4. Mapa de radiación solar global diaria, sobre el plano horizontal | 18 |
| Ilustración 5. Mapa de potencial de la velocidad (m/s) del viento | 20 |
| Ilustración 6. Ilustración de la cadena de valor de la energía | 22 |
| Ilustración 7. Mapa del ecosistema de innovación en Energías Renovables | 29 |
| Ilustración 8. Mapa de ruta del proyecto de investigación en energía solar | 48 |
| Ilustración 9. Mapa de ruta del proyecto sobre generadores eléctricos síncronos | 51 |
| Ilustración 10. Mapa de ruta del proyecto de red de desarrollo de aplicaciones de la Bioenergía..... | 54 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Las Energías Renovables | 9 |
| Tabla 2. Estimación de la producción mundial de energía durante 2010 y para 2035..... | 12 |
| Tabla 3. Capacidad instalada adicional para la generación de electricidad a partir de fuentes renovables 2012-2026 (MW) | 13 |
| Tabla 4. Centrales para la generación de electricidad con Energías Renovables 2012 (MW) | 15 |
| Tabla 5. Ocupaciones en determinados subsectores de las energías renovables según el segmento de la cadena de valor..... | 30 |
| Tabla 6. Instituciones de educación superior e investigación relevantes..... | 31 |
| Tabla 7. Empresas dedicadas a la producción y venta de equipo y servicios para energías renovables | 34 |
| Tabla 8. Matriz de proyectos del Área de Especialización en Energías Renovables | 58 |

1. INTRODUCCIÓN A LAS ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN SELECCIONADAS POR LA AGENDA

1.1. Introducción a criterios de priorización utilizados

La **Agenda Estatal de Innovación de Durango** tiene por objetivo identificar las principales áreas estratégicas en materia de innovación, para ser desarrolladas en los próximos años. El documento se integra por las **Agendas Sectoriales de Innovación**, correspondientes a cada *Área de Especialización* (sector económico), definida para el Estado, en función del desarrollo de capacidades que fomenten el mejoramiento de las condiciones económicas, políticas, educativas, sociales y ambientales de la población.

A su vez, las **Agendas Sectoriales** desarrollan las líneas de innovación para fortalecer cada *Área de Especialización* e impulsar los *Nichos* identificados, mediante la propuesta de proyectos específicos, apoyada en los recursos de la entidad.

La **Agenda Sectorial de Innovación en Energías Renovables de Durango** tiene por objetivo identificar los ejes estratégicos de acción para detonar actividades de innovación; para ello se toma en cuenta la vocación del Estado y las oportunidades de mercado que se vislumbran. Como resultado, se proponen *Nichos de Especialización* y proyectos específicos acordes con las fortalezas detectadas en materia de infraestructura, recurso humano, localización geográfica y capacidades tecnológicas para promover la innovación empresarial y la diversificación productiva con una perspectiva de mediano y largo plazo.

La participación del Comité de Gestión en la selección de las áreas fue relevante, sobre todo al proponer algunos rubros que no son considerados nichos de alta importancia económica, pero que por su trascendencia en la política de desarrollo del estado se les considera como un elemento importante dentro de la Agenda.

1.2. Aplicación de criterios para la selección de áreas de especialización

El punto de partida fue el reconocimiento de problemas y oportunidades para el desarrollo competitivo del Estado para, en función de éstos, priorizar la generación y aplicación de conocimiento en plataformas tecnológicas dentro de áreas de especialización que pudieran impactar la solución de problemas críticos del área, así como en el aprovechamiento de las oportunidades percibidas y jerarquizadas por los actores del ecosistema de innovación.

Para la selección de Áreas de Especialización se usó un modelo de priorización basado en indicadores económicos, sociales, de oportunidad de mercado y de desarrollo tecnológico (capacidades físicas y humanas, así como la experiencia y vocación del estado).

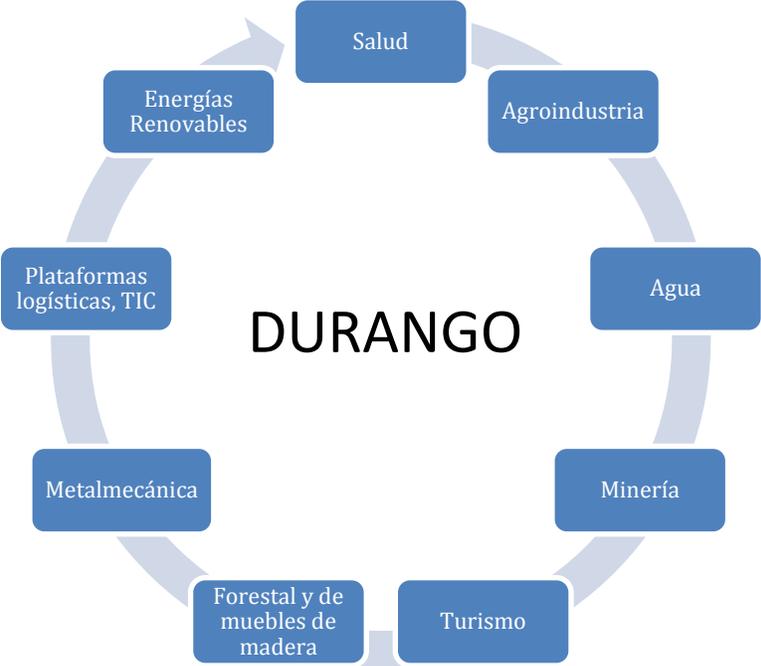
En las ocasiones en las que la valoración era eminentemente cualitativa, la decisión se tomó mediante un análisis específico del Comité de Gestión en función de la pertinencia para el Estado y dicha decisión fue validada por el Grupo Consultivo.

1.3. Áreas de especialización seleccionadas y gráfico representativo de la agenda

A través de la Agenda Estatal de Innovación, con cada uno de los sectores se busca hacer recomendaciones de política en materia de innovación y desarrollo tecnológico que ayuden a cerrar las brechas de desventajas en cada uno de los sectores. Así como promover un crecimiento inteligente, basado en el conocimiento y la innovación, un crecimiento sustentable, promoviendo una economía verde, eficiente y competitiva y un crecimiento incluyente, fomentando un alto nivel de empleo y logrando una cohesión económica, social y territorial.

Los sectores seleccionados por el Comité de Gestión y el Grupo Consultivo del estado de Durango para el desarrollo de la Agenda Estatal de Innovación son:

Ilustración 1. Áreas de especialización seleccionadas en Durango



Fuente: CamBioTec A.C., 2014

2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESPECIALIZACIÓN EN EL ESTADO Y EN EL CONTEXTO NACIONAL

2.1. Breve descripción del área de especialización

El **sector energético** de una nación se refiere al sector de actividades primarias, secundarias y terciarias destinadas a la producción, transportación, innovación, manejo y venta de los productos energéticos del país. Los recursos energéticos de un país difieren según la abundancia y variedad de los recursos naturales del área. Entre los recursos energéticos más explotados se encuentran el petróleo, el gas natural, el carbón, etc. También existen diversos tipos de productos energéticos producidos de varias formas como lo son las energías renovables.

En tecnología y economía, una fuente de energía es un recurso natural, que se capitaliza mediante la tecnología asociada para explotarla y hacer un uso industrial y económico del mismo. La energía en si misma nunca es un bien para el consumo final sino un bien intermedio para satisfacer otras necesidades en la producción de bienes y servicios. Al ser un bien escaso, la energía es fuente de conflictos para el control de los recursos energéticos.

Es común clasificar las fuentes de energía según incluyan el uso irreversible o no de ciertas materias primas, como combustibles o minerales radioactivos. Según este criterio se habla de dos grandes grupos de fuentes de energía explotables tecnológicamente: las renovables y las no renovables.

2.1.1. Definición de Energías Renovables

Las energías renovables (Tabla 1) son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía

aprovechable por la humanidad, y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua (LAERFTE, Art. 3, Frac. II).

Las fuentes renovables de energía perdurarán por miles de años. Las energías renovables se pueden clasificar de distintas formas: por su origen primario de la energía, por el nivel de desarrollo de las tecnologías y por las aplicaciones de las energías.

Tabla 1. Las Energías Renovables

| | Origen primario de la energía | | | Nivel de desarrollo de las tecnologías | | | Aplicaciones | | |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|--|-------|--------------------------|--------------|--------------------|------------------------------------|
| | Energía del sol ¹ | Calor de la corteza terrestre | Movimiento o relativo de la luna y el sol | Tradicional / maduro | Nueva | En proceso de desarrollo | Electricidad | Calor ² | Combustibles líquidos ³ |
| Eólica | | | | | | | | | |
| Radiación solar | | | | | | | | | |
| Hidráulica | | | | | | | | | |
| Bioenergía | | | | | 4 | | | | |
| Geotermia | | | | | | 5 | | | |

¹ La mayoría de las fuentes de energía tienen a la energía del sol como origen de forma indirecta. Por ejemplo, en el caso del viento, la radiación solar calienta masas de aire, lo que a su vez provoca su movimiento.

² Todas las fuentes renovables pueden ser utilizadas para generar electricidad, y a partir de ésta producir calor o energía para el transporte, pero aquí se muestran sólo aquellas fuentes que pueden tener estas aplicaciones de manera directa.

³ La bioenergía se utiliza tradicionalmente como combustible desde hace milenios. Sin embargo, existen también tecnologías para su aprovechamiento para generar electricidad o para la producción de biocombustibles, que son relativamente nuevas o que están en proceso de desarrollo.

⁴ La geotermia se aprovecha tradicionalmente de varias maneras, y existen además tecnologías en desarrollo, tales como la de rocas secas y la geotermia submarina.

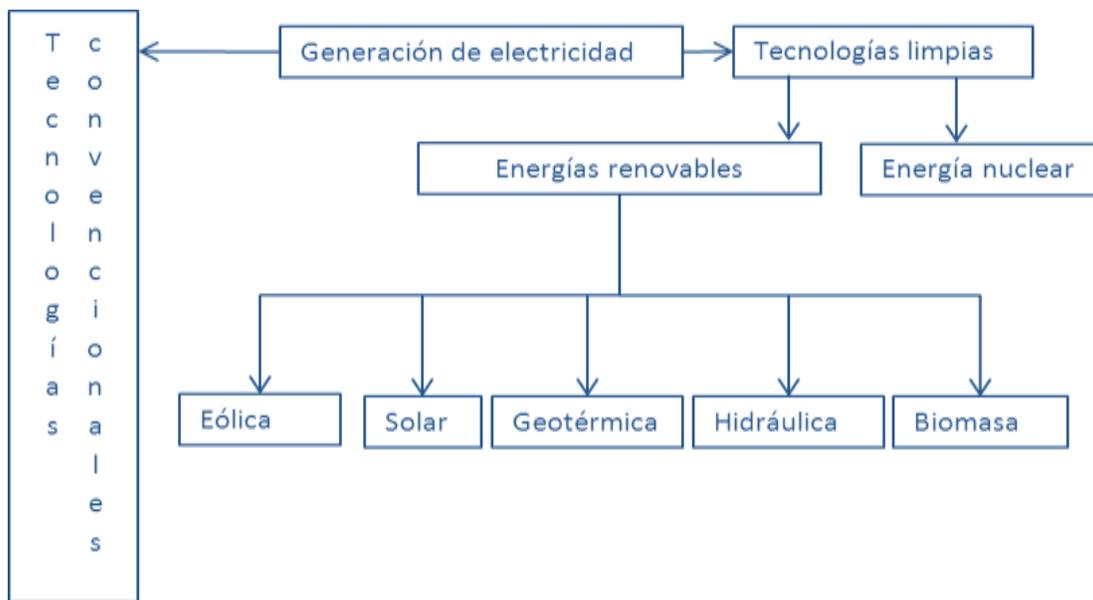
⁵ Las corrientes oceánicas se deben a diversos factores: viento, diferencias en temperaturas, diferencias en salinidad, rotación de la tierra y mareas.

| | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Olas | | | | | | | | | |
| Mareas | | | | | | | | | |
| Corrientes oceánicas | | | | | | | | | |
| Otras energías oceánicas ⁽⁶⁾ | | | | | | | | | |

Fuente: SENER 2010. Energías Renovables, 2012.

Así, el área de Energías Renovables está constituida por todas las formas de energía que se renuevan de forma continua. Algunas de éstas son: el sol, el viento, el agua, la biomasa y el calor proveniente del núcleo de la Tierra (ver Ilustración 2).

Ilustración 2. Generación de electricidad por tipo de tecnología



Fuente: ProMéxico 2013.

⁶ Otras energías oceánicas incluye el gradiente térmico oceánico y el gradiente de concentración de sal (en desembocaduras de ríos).

Dependiendo del tipo de fuente utilizada, las Energías Renovables se clasifican en:

Geotérmica: Es la energía proveniente del núcleo de la Tierra en forma de calor; ésta fluye a través de fisuras en rocas y se acerca a la superficie, donde su acumulación depende de las condiciones geológicas del lugar.

Eólica: es la energía del viento transformada en energía mecánica o eléctrica.

Hidráulica: es la generación de electricidad a partir de la energía producida por el agua que corre al salvar el desnivel natural o artificial existente entre dos puntos. Puede referirse a grandes aprovechamientos hidroeléctricos o a microcentrales que funcionan a partir de pequeñas corrientes.

Solar: la energía proveniente de la radiación del sol se divide, de acuerdo a la tecnología utilizada, en:

- **Fotovoltaica:** es la transformación de la radiación solar en electricidad a través de paneles, celdas, conductores o módulos fotovoltaicos, elaborados principalmente de silicio y formados por dispositivos semiconductores.
- **Solar de alta concentración:** paneles parabólicos que concentran la radiación solar para transformarla en energía eléctrica.
- **Térmica:** es el aprovechamiento de la radiación solar para la captación y almacenamiento de calor a través de colectores termosolares.

Biomasa: es la energía que se obtiene de residuos animales y vegetales. Como energético, la biomasa se puede aprovechar de dos maneras: quemándola para producir calor o transformándola en combustible (sólido, líquido o gaseoso). (ProMéxico, 2013)

La tendencia en el uso de energías alternas y renovables es muy favorable. Como se puede observar en la Tabla 2, se estima que en 2010 una quinta parte de la producción de energía del mundo provino de fuentes renovables y, con estimaciones positivas, se prevé que para el 2035 ascienda a cerca de la mitad de lo producido (ProMéxico, 2013).

Tabla 2. Estimación de la producción mundial de energía durante 2010 y para 2035

| Tipo de energía | TWH producidos en 2010 | TWH que se esperan producir en 2035 |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Bioenergía | 331 | 2,033 |
| Hidráulica | 3,431 | 6,263 |
| Eólica | 342 | 4,281 |
| Geotérmica | 68 | 449 |
| Solar fotovoltaica | 32 | 1,371 |
| Solar de alta concentración | 2 | 815 |
| Mareomotriz | 1 | 82 |
| Total | 4,207 (20% de lo producido) | 15,294 (48% de lo que se producirá) |

Fuente: ProMéxico, 2013.

Por su parte, de acuerdo con la Unidad de Inteligencia de Negocios de ProMéxico (2013), México tenía en 2012 una capacidad instalada de 14,501 MW de generación basada en energías renovables (80.7% de hidráulica, 8.9% de eólica, 5.7% de geotérmica, 4.4% de biomasa y 0.3% de solar).

Se ha planteado una meta de participación de generación de electricidad con tecnologías no dependientes de combustibles fósiles del 35% para 2024. Esta transición de la matriz energética incluye el uso de la energía nuclear y las fuentes renovables (SENER, 2013).

De acuerdo con la Estrategia Nacional de Energía 2013-2027, “México dispone de un potencial renovable indiscutible, con un amplio porfolio de recursos (eólico, solar, geotérmico, biomasa e hídrico). Derivado de lo anterior, deben ser impulsadas las diferentes tecnologías para su aprovechamiento, en sus diferentes etapas de desarrollo, de modo que estos recursos puedan ayudar en la diversificación de la matriz energética, la eficiencia del uso de recursos no renovables y la reducción de importaciones de energéticos” (SENER, 2013).

En el marco de la citada estrategia, se “ha estimado que un Escenario Competitivo, en el que se instalasen más de 18,000 MW renovables a 2018 en el país, generaría una apuesta decidida de nuevas inversiones por parte del sector privado y contribuiría a la vertebración y desarrollo social de las distintas regiones con recurso competitivo. El escenario señalado generaría un incremento del PIB de más de 230,000 MDP, equivalente a cerca del 2.0% del PIB del año 2011, generando más de 70,000 empleos. En términos ambientales su aprovechamiento situaría la participación de las energías limpias en el 29% de la capacidad de generación en 2018 y mitigaría la emisión de 17 MtCO₂.” (SENER, 2013).

En este marco, se estima que para 2026, se alcanzará una capacidad total instalada superior a 30,000 MW⁷ para la generación de electricidad a partir de Energías Renovables. Se prevé un incremento de 20,544 MW (2012-2026) en la capacidad instalada existente, liderado por las energías Eólica e Hidráulica con una participación de 59 y 28% respectivamente. Este pronóstico incluye las modalidades de servicio público, autoabastecimiento y generación distribuida (ver Tabla 3).

Tabla 3. Capacidad instalada adicional para la generación de electricidad a partir de fuentes renovables 2012-2026 (MW)

| Tipo de energía | Servicio Público | Autoabastecimiento | Generación distribuida | Total | Participación |
|-----------------|------------------|--------------------|------------------------|---------------|---------------|
| Eólica | 3,219 | 8,352 | 461 | 12,032 | 59% |
| Hidráulica | 4,771 | 701 | 139 | 5,611 | 27% |
| Solar | | | | | |
| - Fotovoltaica | 6 | 752 | 1,170 | 1,928 | 9% |
| - Termosolar | 14 | 0 | 16 | 30 | 0% |
| Geotérmico | 151 | 0 | 25 | 176 | 1% |
| Biomasa | 0 | 422 | 345 | 767 | 4% |
| Total | 8,161 | 10,227 | 2,156 | 20,544 | 100% |

Fuente: PER 2012-2026/ Secretaría de Energía (SENER). ProMéxico, 2013

⁷ Para calcular la capacidad total en 2026 se debe sumar los 20,544 MW a la capacidad instalada de 2011.

2.2. Distribución del área de especialización en México

2.2.1. Centrales para la generación de electricidad con Energías Renovables

El país tiene 253 centrales en operación y en construcción para la generación de energía eléctrica con fuentes renovables. Los proyectos de Energías Renovables tienen presencia en el 90% de las entidades federativas del país; sin embargo, Oaxaca y Veracruz son los estados con mayor número de proyectos, eólicos y de bioenergía respectivamente (ver Ilustración 3).

Ilustración 3. Proyectos en operación y en construcción para la generación electricidad con Energías Renovables 2012



Fuente: CRE / CFE/ Medios electrónicos (ME). ProMéxico, 2013.

México cuenta con una capacidad de 5,951 MW, tomando en cuenta las centrales en operación y en construcción. **Los estados de Oaxaca, Baja California, Tamaulipas y Veracruz concentran cerca del 75% de la capacidad** (ver Tabla 4).

Tabla 4. Centrales para la generación de electricidad con Energías Renovables 2012 (MW)

| Estado | Bioenergía | Eólica | Geotérmica | Hidráulica < a 30 MW | Solar* | Total |
|-----------------|------------|--------|------------|----------------------|--------|-------|
| Oaxaca | 33 | 2,499 | | 39 | | 2,571 |
| Baja California | | 258 | 645 | 24 | 5 | 932 |
| Tamaulipas | 13 | 437 | | | | 450 |
| Veracruz | 270 | 40 | | 124 | | 434 |
| Nuevo León | 28 | 274 | | | | 302 |
| San Luis Potosí | 81 | 200 | | | 1 | 282 |
| Michoacán | 15 | | 192 | 4 | | 210 |
| Jalisco | 61 | | | 58 | 30 | 149 |
| Chiapas | 25 | 39 | | 60 | | 124 |
| Puebla | 15 | | 52 | 39 | | 106 |
| Otros | 205 | 2 | 10 | 118 | 156 | 492 |
| Total | 745 | 3,749 | 898 | 467 | 192 | 6,052 |

Fuente: CRE / CFE/ ME. ProMéxico, 2013.

*Se excluyen las centrales hidroeléctricas mayores a 30 MW. Las cifras están redondeadas.

2.2.2. Cambios en la legislación para la administración del sistema energético

El sector de energía en México ha estado sustentado en dos grandes empresas estatales que operan el servicio público de electricidad y la exploración, explotación y procesamiento de hidrocarburos en el país. Pero las recientes reformas en el sector traen consigo cambios importantes.

La nueva Ley de la Industria Eléctrica es reglamentaria de los artículos 25, párrafo cuarto; 27, párrafo sexto, y 28, párrafo cuarto, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y tiene por objeto regular la planeación y el control del Sistema Eléctrico

Nacional (SEN), el Servicio Público de Transmisión y Distribución (T&D) de Energía Eléctrica y las demás actividades de la industria eléctrica. Un cambio mayor se refiere a que **el Suministro Eléctrico es un servicio de interés público. La generación y comercialización de energía eléctrica son servicios que se prestan en un régimen de libre competencia.**

El Estado establecerá y ejecutará la política, regulación y vigilancia de la industria eléctrica a través de la SENER y la Comisión Reguladora de Energía (CRE). La SENER está facultada para:

- Establecer, conducir y coordinar la política energética del país en materia de energía eléctrica;
- Dirigir el proceso de planeación y la elaboración del Programa de Desarrollo del SEN;
- Establecer los criterios para el otorgamiento de los Certificados de Energías Limpias;
- Vigilar la operación del Mercado Eléctrico Mayorista (El Mercado) y las determinaciones del CENACE, entre otras.

Por su parte, la CRE está facultada para:

- Otorgar los permisos de generación, “Usuario Calificado”, entre otros;
- Determinar las metodologías de contraprestaciones aplicables a los Generadores Exentos;
- Expedir y aplicar la regulación tarifaria a que se sujetarán la T&D, la operación de los Suministradores de Servicios Básicos, la operación del CENACE y los Servicios Conexos no incluidos en el Mercado, así como las tarifas finales del Suministro Básico que no sean determinadas por el Ejecutivo Federal;
- Autorizar los modelos de contrato que celebre el CENACE con los Participantes del Mercado, entre otras.

La Ley establece: **un nuevo escenario en la generación, la creación y operación de nuevas plantas particulares**, buscando complementar la capacidad pública, a fin de atender la

creciente demanda de electricidad; las reglas para que **los particulares participen en el financiamiento, instalación, mantenimiento, gestión, operación y ampliación de la red nacional de transmisión**; nuevas modalidades de contratación entre el Estado y los particulares para que éstos contribuyan con su tecnología y experiencia a la expansión y mejoramiento de las redes generales de distribución; y que los suministradores comprarán la energía que sus clientes requieran mediante la celebración de contratos con generadores y en el mercado de energía eléctrica. **La CFE, en su papel de suministrador de servicio básico, comprará energía a través de estos mecanismos competitivos.**⁸

Puede concluirse que la reforma energética abre oportunidades para los inversionistas privados interesados en participar en la expansión de la capacidad instalada y la comercialización de electricidad.

Por otro lado, el 28 de noviembre de 2008 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. (LAERFTE), la cual busca regular el aprovechamiento de las energías renovables para la generación de electricidad. El reglamento de la LAERFTE se publicó en el Diario Oficial el día 2 de septiembre del 2009. Con este instrumento se favorece a proyectos de autoabastecimiento (hidroeléctricos, solares y eoloeléctricos). Con la reforma energética, estos proyectos podrán referirse también a inversiones para la comercialización de energía.

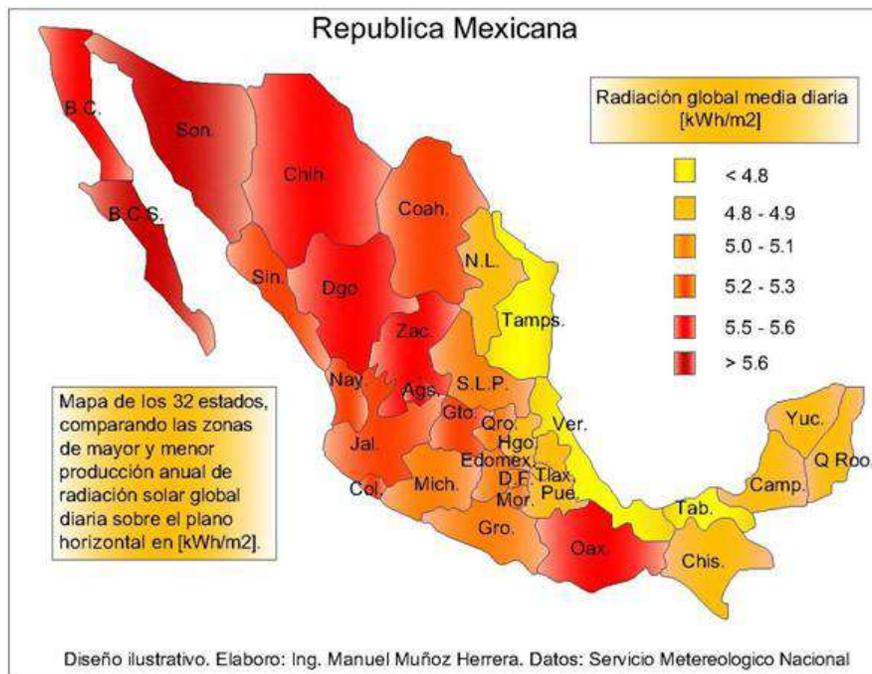
⁸Price Waterhous Cooper (2014), Reforma energética de México, México, D.F.

2.3. Posicionamiento del estado en el área de especialización

Energía solar. En el estado de Durango se ha desarrollado un proyecto productivo de energía fotovoltaica que tiene una capacidad de 16 MW. Es el segundo más grande de México, siendo el primero el que se encuentra en Baja California Sur, con capacidad de generar de 30 MW.

El crecimiento de este tipo de proyectos en el estado de Durango será elevado a muy corto plazo debido a las condiciones idóneas de irradiación solar. La Ilustración 4 muestra el mapa de irradiación solar de México, donde se ve que el estado de Durango es una región con un elevado potencial solar ($5.7 \text{ kW/h/m}^2/\text{día}$), debido a que se encuentra en el denominado “cinturón solar”.

Ilustración 4. Mapa de radiación solar global diaria, sobre el plano horizontal



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

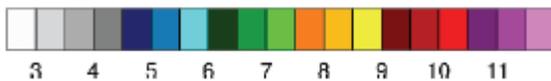
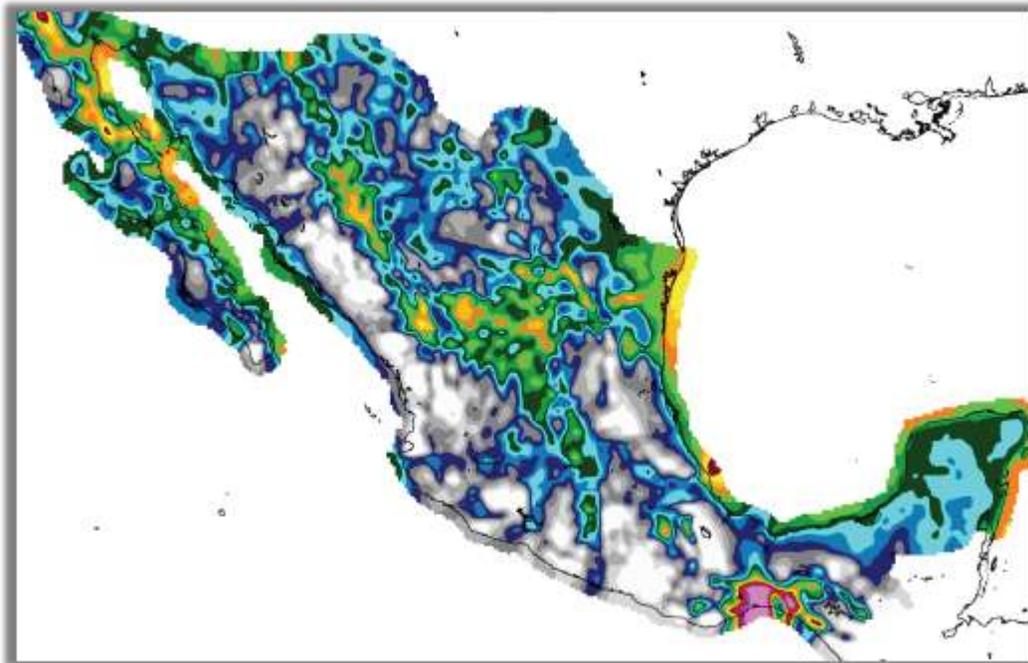
Energía de biomasa. En el Estado de Durango, el tipo de vegetación más abundante es el bosque, que cubre 47% de la superficie estatal; en las cañadas y profundos cañones de la sierra se distribuye la selva cubriendo menos del 5%; al pie de la vertiente oriental de la sierra, existen considerables extensiones de pastizal, importante recurso para la ganadería, ocupa cerca de 15%; en la porción centro y noreste la cubierta vegetal consta de diversos tipos de matorral de zonas áridas que cubren 21% del territorio. Adicionalmente, se tiene una producción considerable de residuos agrícolas tales como el ripo de manzana, o los bagazos de agave por la producción de mezcal.

Además, Durango destaca en la producción de leche de caprinos, en la que ocupa el segundo lugar a nivel nacional y se produce en los municipios de Tlahualilo y Lerdo; en la producción de carne de ave tiene el cuarto lugar y se produce en los municipios de Durango y Tamazula; en leche de bovino ocupa el sexto lugar y la producción se obtiene en Gómez Palacio y Lerdo.

Considerando el liderazgo en producción animal antes referido, el excremento del ganado caprino y bovino puede ser empleado para la producción de biogás y la generación de energía eléctrica a partir de éste; así como la producción de lixiviados que sirven de abono para la agricultura. En el estado de Durango también se puede considerar la biomasa a partir de residuos sólidos urbanos, tales como la basura de comida, jardines, y otros materiales orgánicos.

Energía eólica. La energía eólica es la energía renovable de más rápido crecimiento en México. En los últimos años, los costos de generación de electricidad han caído rápidamente, con la entrada al mercado de diseños de aerogeneradores más eficientes, capacidades de generación más grandes y una fuerte competencia. En la Ilustración 5 se representa el potencial de velocidad del viento en todo el país, donde se puede apreciar que el estado de Durango tiene zonas de potencial medio donde se puede aprovechar la energía eólica, aunque debe hacerse con aerogeneradores de baja velocidad.

Ilustración 5. Mapa de potencial de la velocidad (m/s) del viento



En la Ley para el Fomento, Uso y Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía del Estado de Durango y sus Municipios (Decreto 437 del 3 de enero de 2010 y reformada por Decreto 276 del 7 de junio de 2012), se expresa la misión de “establecer las bases generales para fomentar la sustentabilidad energética y promover el aprovechamiento, el desarrollo y la inversión de las energías renovables, mediante su uso óptimo en todos los procesos y actividades, desde la explotación hasta el consumo, con el fin de ser un instrumento para la competitividad, la mejora de la calidad de vida, la protección y la preservación del ambiente, así como el desarrollo humano sustentable en el Estado y sus Municipios” (Artículo 1).

La Agenda Sectorial de Innovación en Energías Renovables de Durango debe hacer una contribución sustantiva a esta misión, sobre todo orientando el avance en el aprovechamiento sustentable de los recursos para generar energía y, al mismo tiempo, promover desarrollos tecnológicos que aporten a la transición energética competitiva.

2.3.1. Cadena de valor del sector

De acuerdo con Torres Reyes (2009) y la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES)⁹, la cadena de valor de este sector es similar a la de otros productos y servicios, pasando por diferentes etapas de generación, transformación, transmisión y distribución (ver Ilustración 6).

Las oportunidades para la innovación pueden encontrarse en cualquiera de los segmentos, por lo que los proyectos que integren la Agenda Sectorial de Durango no tienen que radicar forzosamente en la generación. Se puede integrar innovación de alto impacto en el almacenamiento, transmisión y distribución, o bien en la provisión de servicios de acompañamiento de todo el proceso. La Tabla 5 (secc. 3.2) muestra las necesidades de recursos humanos en diferentes segmentos de la cadena de valor, lo cual nuevamente pone de manifiesto la necesidad de abordar el análisis de la innovación con una perspectiva multidisciplinaria y holística.

⁹Generación distribuida con energías renovables para el desarrollo regional sustentable, Mercado de la Energía Renovable Cadena de Valor de la Generación Distribuida., Asociación Nacional de Energía Solar, ANES 2009.

Ilustración 6. Ilustración de la cadena de valor de la energía



Fuente: ANES, 2009.

2.4. Principales tendencias de la innovación en el área de especialización a nivel mundial

El desarrollo tecnológico para el aprovechamiento de fuentes renovables de energía, es una demanda actual a nivel mundial. Principalmente, se identifican tres tendencias en I+D para el sector:

1. **Tecnologías para la generación eléctrica;** donde se incluyen las diferentes fuentes de energía, alternativas y renovables.
2. **Tecnologías para la generación de combustible;** desarrolladas como alternativa a los combustibles fósiles. Principalmente con fines térmicos.
3. **Proveeduría y mantenimiento;** ésta es el área con mayor enfoque innovador actualmente. Se identifican las investigaciones, desarrollos tecnológicos y procesos

de evaluación y validación en temas sobre desarrollo de materiales e infraestructura, así como en mejoramiento de la eficiencia de los sistemas.

Respecto de esta última tendencia, se mencionan a continuación algunos ejemplos mundiales para el desarrollo de capacidades en el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía.

2.4.1. Desarrollo de materiales

La I+D sobre nuevos materiales es una tendencia común a varias áreas de la industria. En el caso de las tecnologías para el aprovechamiento de Energías Renovables, el desarrollo de materiales es un factor habilitador clave para la eficiencia de los sistemas, la reducción de costos de instalación, mantenimiento y generación energética, así como en la congruencia con los principios de la generación de energía limpia.

La investigación sobre energía solar se ha dividido en dos grupos, en la búsqueda por captar la energía solar de forma más barata. Algunos investigadores se enfocan en obtener células solares de fabricación a precios muy bajos, pero que tienen la desventaja de ser relativamente ineficientes. Últimamente, un mayor número de investigadores se ha centrado en el desarrollo de células de muy alta eficiencia, a pesar de que requieran técnicas de fabricación más caras (Bullis, 2013).

Un nuevo material parece ofrecer lo mejor de ambas tendencias: células solares muy eficientes, pero también baratas de fabricar. Martin Green, de la Universidad de Nueva Gales del Sur, Australia, desarrolla un recubrimiento innovador de base mineral fotosensible: la perovskita, un material con capacidad para absorber luz solar visible e infrarroja, que permite su manipulación integrando una película cristalina a temperaturas mucho más bajas que las películas actuales a base de silicio (Bullis, 2013; CIDET, 2014).

Desde las primeras películas de perovskita, fabricadas en 2009, las actuales de mayor eficiencia presentan una tasa de conversión de energía solar a electricidad del 17.9%, lo

cual ya representa un factor competitivo con las películas convencionales de telurio de cadmio y silicio (CIDET, 2014). Las investigaciones recientes de Michael Grätzel y Nam-Gyu Park, proponen un método para controlar el crecimiento de los cristales de perovskita, principal factor de eficiencia en estas películas minerales. Sus resultados sobre el tamaño de los cristales han obtenido células de perovskita con eficiencia promedio de 16.4%, y estiman que existe el potencial para alcanzar un 20% de eficiencia (CIDET, 2014).

En otro ejemplo, investigadores de la Universidad de Ohio State, EUA, trabajan en el desarrollo de un dispositivo que actúa como célula solar y batería recargable. Los dispositivos actuales emplean por separado, un panel solar para capturar la luz y una batería para almacenar la energía. El desarrollo de Yiyang Wu y su equipo, presenta una hibridación de ambos dispositivos: esta “batería solar” consiste en un panel de malla solar que permite la entrada de aire para que la interacción entre el oxígeno y la luz solar activen las reacciones químicas necesarias para la transferencia de electrones entre el panel solar y un electrodo en la batería (ABC.es, 2014).

2.4.2. Nueva infraestructura

El desarrollo de infraestructura se concibe desde la tecnología a gran escala para aumentar la captación de energía por unidad de superficie; hasta el mejoramiento de los dispositivos actuales para reducir los costos de instalación y operación de los diversos sistemas.

Por ejemplo, en Estados Unidos se instaló la mayor planta solar térmica en el mundo, denominada “complejo Ivanpha”, que abarca un área de 13 km² sobre el Desierto de Mojave. Con tres torres de 139 m de altura y los más de 300,000 espejos automatizados, pueden generar 392 megawatts (MW), a través de la captación de calor para calentar agua hasta el punto de ebullición que alimenta a turbinas generadoras de electricidad (ABC.es, 2014).

También destaca el proyecto en proceso del Laboratorio de Investigación Naval de EUA (NRL, por sus siglas en inglés), para la construcción de un módulo espacial para captar y transmitir energía solar desde el espacio. Este proyecto considera integrar un panel fotovoltaico, un dispositivo electrónico que convierte la energía solar en radiofrecuencias y una antena dirigida a la Tierra, en una estructura que orbitará el planeta. Entre los resultados esperados se considera el desarrollo de capacidades para captar energía solar, sin interferencia de los días nublados o los períodos de noche como se presentan en la Tierra, además de disminuir los costos por kilowatt-hora (NRL News, 2014).

En el caso de tecnologías para aprovechar la energía eólica, se encuentran los diseños de aerogeneradores de mayor dimensión (Hyperwind de Statoil, en Noruega; LM Wind Power en Dinamarca). El proyecto Hyperwind (Statoil, 2014) consiste en desarrollar el primer aerogenerador flotante a gran escala en el mundo, que captaría la energía del viento en altamar, potencialmente con mínimo impacto ambiental negativo. Actualmente, el proyecto se encuentra en la fase de validación y mejoramiento del diseño, previo al modelo comercial.

Por su parte, LM Wind Power, es una empresa danesa líder en innovación y desarrollo en el aprovechamiento de la energía eólica en el mundo. Compite también con el desarrollo del generador eólico más grande del mundo, en convenio con Alstom, la multinacional francesa, con el objetivo de reducir el costo en el aprovechamiento de energía eólica en regiones marinas. Esta empresa ha sido signataria del Pacto Mundial de la ONU desde finales del 2010 (LM Wind Power, s/a).

En Japón, Yuji Ohya, profesor de la Universidad de Kyushu, ha diseñado un nuevo concepto sobre aerogeneradores. Consiste básicamente en una turbina acoplada en un aro que semeja un “lente” intensificador del flujo de viento que incide sobre ella, incrementando potencialmente hasta en tres veces la cantidad de energía obtenida, en comparación con los generadores eólicos convencionales (El constructor, 2012).

2.4.3. Eficiencia de los sistemas

De acuerdo con Mark Jacobson (2009), en su estudio sobre comparación de Energías Renovables, es de esperar que la combinación de estas tecnologías avance como una solución para el calentamiento global, la contaminación del aire y la seguridad energética.

El ingeniero de la Universidad de Stanford, EUA, identificó a la energía eólica como la opción más deseable, en segundo lugar, a la energía solar concentrada (CSP), seguida por la energía geotérmica, la mareomotriz y la undimotriz, en función de 11 criterios para evaluar los beneficios que ofrecen a la sociedad y al planeta (Jacobson, 2009). De su análisis también se desprende que los biocombustibles basados en etanol causarían más perjuicio a la salud humana, a la biodiversidad y al suministro de agua que los actuales combustibles fósiles.

Por lo anterior, se evidencia la importancia de garantizar la eficiencia de los sistemas de aprovechamiento de fuentes de Energía Renovable, tanto en la generación de electricidad como de combustibles.

De acuerdo con Paulina Beato (Agenda Ciudadana, 2010), una tendencia indispensable por abordar en el aprovechamiento de fuentes de energía renovables, es el almacenamiento eficiente de energía para el uso continuo equiparable a la demanda rutinaria de este insumo, tal como lo expresa en su participación en la convocatoria “Reto 2030”.

Considerando que la captación de energía a partir de algunas fuentes renovables (viento o sol) puede presentar interrupciones cíclicas; la energía eólica depende del movimiento fluctuante de las masas de aire, mientras que la energía solar evidentemente sólo ha podido ser captada durante las horas luz de cada región, fluctuando la irradiación de acuerdo con la posición geográfica y la época del año, además de algunas limitantes durante los días nublados y lluviosos. En comparación con el uso continuo de la energía por la humanidad, resulta necesario el desarrollo de sistemas de almacenamiento de la energía generada por las fuentes renovables (Agenda Ciudadana, 2010).

Actualmente, el aprovechamiento de energía a partir de fuentes renovables, consiste en consumir la energía en el mismo momento que se produce, por lo que resulta ineficiente desde la perspectiva del uso comercial.

En este sentido, como ejemplo de tendencia sobre la eficiencia de sistemas, un equipo de investigadores en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés), desarrollaron un sistema innovador para el almacenamiento de energía solar, utilizando nanotubos de carbono en combinación con azobenceno. El uso de este material, supone mayor eficiencia en la capacidad de almacenamiento de energía (10,000 veces más densidad volumétrica de energía) y menor costo en el proceso y en el material empleado, comparado con la tecnología usual hasta el momento: rutenio (Tendencias21, 2011).

También se identifican las oportunidades de innovación sobre necesidades de mantenimiento a los sistemas y granjas energéticas en funcionamiento. Por ejemplo, para la industria eólica, existe una limitante en las regiones donde las temperaturas disminuyen por debajo de los cero grados. Lo cual involucra grandes inversiones económicas y humanas para evitar la formación de hielo en los molinos eólicos.

En el Dartmouth College se desarrolló una tecnología anticongelante para molinos eólicos que funciona mediante pulsaciones de alta potencia para “aplicar calor” y evitar la formación de hielo (Dartmouth/Petenko, s/a; Crisp Green, 2010).

También se identifican propuestas sobre diseños innovadores en busca de menores costos de materiales, practicidad en el armado y resistencia en el uso. Tal es el caso de un equipo de investigadores israelitas, quienes diseñaron un sistema de rotores para aerogeneradores a partir de material textil y un soporte circular inflable, siendo flexibles, ligeros y a muy bajo costo de fabricación, pues se estima que reduce hasta en 50% la inversión de instalación con este diseño (Crisp Green, 2010).

Otro ejemplo de innovación sobre eficiencia es el diseño del aerogenerador WMS 1000. La turbina WMS 1000 consiste en un sistema eólico autónomo, accionado por un

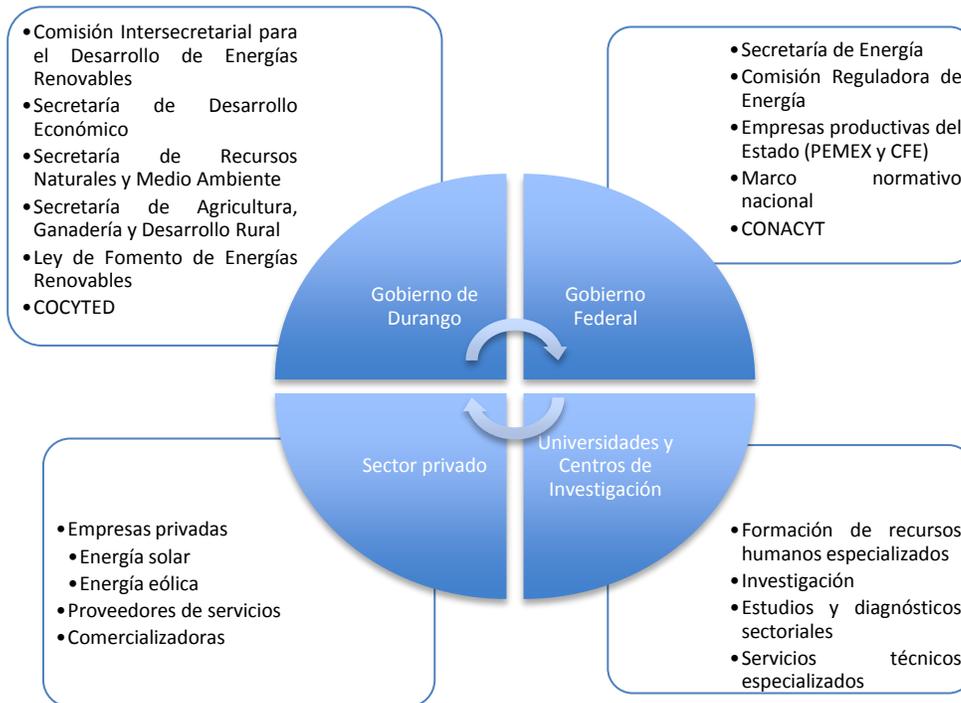
aerogenerador de 30 Kw, sobre una torre de 24 m de altura. El mecanismo de acción se basa en el fenómeno de la condensación intersticial que se presenta durante los descensos bruscos en la temperatura del aire, superando el punto de rocío en la condensación del vapor de agua. Para lograr el efecto, la turbina eólica utiliza un sistema de enfriamiento por donde circula el aire, enfriándolo hasta que la estructura “esponjosa” del aire se contrae y expulsa la humedad contenida. El sistema está en fase de prueba en los desiertos de los Emiratos Árabes Unidos, cosechando en promedio, 1000 lt de agua por día (Vercelli, 2013).

3. BREVE DESCRIPCIÓN DEL ECOSISTEMA DE INNOVACIÓN EN EL ÁREA DE ESPECIALIZACIÓN

El ecosistema de innovación del área de especialización en Energías Renovables en México, se integra por el gobierno mediante sus distintas dependencias, programas e instrumentos de política (convenios con organismos internacionales); las empresas de los diversos subsectores; las Instituciones de Educación Superior (IES) y Centros de Investigación (CI), como se muestra en la siguiente ilustración.

3.1. Mapa de los agentes del ecosistema de innovación

Ilustración 7. Mapa del ecosistema de innovación en Energías Renovables



Fuente: CamBioTec A.C., 2014.

3.2. Principales instituciones de educación superior y centros de investigación y sus principales líneas de investigación

Uno de los retos más relevantes que tienen las Instituciones de Educación Superior (IES) y los Centro de Investigación (CI) es el de formar profesionales de alta calidad para satisfacer las necesidades futuras en el área de Energías Renovables, el tipo de

ocupaciones, y su demanda por cada subsector de la industria de energías renovables¹⁰; considerando los cuatro elementos principales de la cadena de valor, con las actividades transversales y de capacitación (véase Tabla 5).

Tabla 5. Ocupaciones en determinados subsectores de las energías renovables según el segmento de la cadena de valor

| Elementos de la cadena de valor | Ocupaciones | |
|---|--|--|
| Fabricación y distribución de equipos (Energía Eólica) | <ul style="list-style-type: none"> • Ingenieros en investigación y desarrollo (informática, electrónica, medio ambiente, mecánica, diseño de energía, eólica) (A) • Ingenieros de software (A,M) • Modeladores (prueba de prototipos) (A, M) • Mecánicos industriales (M) • Ingenieros industriales (A) • Técnicos industriales (M) • Operadores industriales (B) • Expertos en garantía de calidad (A, M) | <ul style="list-style-type: none"> • Certificadores • Profesionales de logística (A, M) • Operadores logísticos (B) • Transportistas de equipos (B) • Profesionales de compras (A, M) • Especialistas de marketing (A, M) • Personal de ventas (A, M) |
| Desarrollo de proyectos (Energía Solar) | <ul style="list-style-type: none"> • Diseñadores de proyectos (ingenieros) (A) • Arquitectos (A) (pequeños proyectos) • Científicos atmosféricos y meteorólogos (A) • Especialistas en evaluación de recursos y evaluadores de instalaciones (A) • Consultor ambiental (A) • Abogados, representantes de programas gubernamentales, financiadores de deuda (A) • Promotores / facilitadores (A, M) | <ul style="list-style-type: none"> • Asesores en ordenación territorial (A) • Negociadores de aprovechamiento territorial (A) • Grupos de presión (A) • Mediadores (A) • Representantes de ONG ambientales y sociales (A, M) • Responsables de relaciones públicas (A) • Profesionales de compras (A, M) • Especialistas en evaluación de recursos (A) |
| Construcción e instalación (Energía hidroeléctrica) | <ul style="list-style-type: none"> • Ingenieros (civiles, mecánicos y eléctricos) (A) • Gerentes de proyecto (A) • Trabajadores de la construcción calificados (operadores de maquinaria pesada, soldadores, montadores de tuberías, etc.) (M) • Peones de la construcción (B) | <ul style="list-style-type: none"> • Desarrolladores de negocios (A) • Ingenieros de puesta en servicio (electricidad) (A) • Trabajadores del transporte (B) |
| Funcionamiento y | <ul style="list-style-type: none"> • Gerentes de planta (A) | <ul style="list-style-type: none"> • Maquinistas (M) |

¹⁰ Oficina Internacional del Trabajo (OIT), 2011: *Skills and Occupational Needs in Renewable Energy*, Ginebra

| | | |
|---|--|--|
| mantenimiento (Energía geotérmica) | <ul style="list-style-type: none"> • Ingenieros de medición y control (A) • Soldadores (M) • Instaladores de tuberías y fontaneros (M) | <ul style="list-style-type: none"> • Electricistas (M) • Operadores de equipos de construcción (M) • Técnicos de calefacción y aire acondicionado (M) |
| Producción de biomasa (Bioenergía) | <ul style="list-style-type: none"> • Científicos agrícolas (A) • Gerentes de producción de biomasa (A, M) • Criadores de plantas y silvicultores (A, M) | <ul style="list-style-type: none"> • Trabajadores agrícolas forestales (B) • Trabajadores del transporte (B) |
| Actividades transversales / de capacitación (todos los sectores) | <ul style="list-style-type: none"> • Responsables de políticas y trabajadores de oficinas gubernamentales (A, M) • Personal de asociaciones comerciales y profesionales (A, M, B) • Educadores y formadores (A) • Gestores (A, M, B) • Administradores (A, M, B) • Editores y escritores de temas científicos (A, M) | <ul style="list-style-type: none"> • Representantes d aseguradoras (A, M) • Profesionales de TI (A, M) • Profesionales de recursos humanos (A) • Otros profesionales financieros (contables, auditores y financistas) (A) • Consultores en salud y seguridad (A, M) • Especialistas en ventas y marketing (A, M) • Clientes (A, M, B) |

A: Altamente calificados (profesionales/directivos); M: Calificación media (técnicos/obreros calificados/personal de supervisión); B: Baja calificación.

Fuente: OIT (2011).

En la Tabla 6 se presentan las principales instituciones de Durango con actividades de formación de recursos humanos e investigación que son relevantes para esta área de especialización.

Tabla 6. Instituciones de educación superior e investigación relevantes

| Institución | Actividades |
|--|--|
| Instituto Tecnológico Superior de Lerdo | Ingeniería Electromecánica; Ingeniería Electrónica; Ingeniería Industrial; Ingeniería en Sistemas Computacionales |
| Instituto Tecnológico Superior de la Región de los Llanos | Ingeniería Industrial; Ingeniería Mecatrónica |
| Instituto Tecnológico Superior de Santa María de El Oro | Ingeniero en Sistemas; Ingeniería Industrial |
| Instituto Tecnológico Superior de Santiago Papasquiaro | Ingeniería Ambiental; Ingeniería Mecatrónica; Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicación; Ingeniería |

| | |
|--|---|
| | Industrial |
| Universidad Politécnica de Durango | Ingeniería en Software; Ingeniería en Tecnología Ambiental |
| Universidad Politécnica de Cuencamé | Tecnologías de la Información; Ingeniería Metalúrgica |
| Universidad Tecnológica de Durango | Ingeniería en Energía Renovable |
| Instituto Tecnológico de la Laguna Durango | Ingeniería eléctrica; Ingeniería Electrónica; Ingeniería Mecánica; maestría en Ingeniería Eléctrica; Doctorado en Ingeniería Eléctrica |
| Universidad Tecnológica de Poanas | Mecatrónica |
| Universidad Tecnológica de Rodeo | Química y tecnología ambiental |
| Instituto Tecnológico de Durango | Ingeniería Eléctrica; Ingeniería Electrónica; Ingeniería Mecánica; Ingeniería Mecatrónica; Ingeniería Química; Ingeniería en Sistemas Computacionales; Doctorado en Ingeniería Bioquímica; Maestría en Ingeniería Eléctrica |
| Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. – Unidad Durango. | Investigación sobre energía solar, procesamiento de biomasa y medio ambiente (esta última incluirá la relación agua-energía y atención a sitios contaminados) |
| Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral de la Regional- Unidad Durango | Maestría en Gestión Ambiental; Doctorado en Biotecnología |
| Universidad Juárez del Estado de Durango. | Ingeniería en Ciencias de Materiales; maestría en manejo de recursos naturales y medio ambiente |
| Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias | Investigación sobre cultivos industriales; manejo integrado de cultivos; aprovechamiento de productos y subproductos; proyectos agroindustriales |

Como puede observarse, Durango no cuenta aún con capacidades de investigación consolidadas en esta área. Existen programas de formación de recursos humanos, principalmente en el nivel de licenciatura y pocos proyectos de investigación.

La principal iniciativa en proceso es la creación de la Unidad CIMAV en Durango, que da nacimiento al Centro de Innovación y Competitividad en Energías Renovables y Medio Ambiente. Este nuevo Centro tiene por objetivo “formar recursos humanos, realizar investigación y desarrollo de frontera en energías renovables y medio ambiente, con una clara vocación de vinculación, enfocada a actividades que promuevan la economía sustentable y la competitividad de la región”.

Esta iniciativa obedece a una invitación del Gobierno del Estado de Durango al CIMAV, en el marco de acciones basadas en la educación, la ciencia y la tecnología contempladas en su Plan Estatal de Desarrollo 2011-2016.

A su vez, el gobierno federal a través del CONACYT apoyó esta idea, sustentada en el objetivo 3.5 del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018: “Hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación, pilares para el progreso económico y social sostenible”, particularmente en lo establecido en la estrategia 3.5.3: "Impulsar el desarrollo de las vocaciones y capacidades científicas, tecnológicas y de innovación locales, para fortalecer el desarrollo".

El CIMAV participa actualmente en la creación del Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CEMIE Sol) el cual, en su primera etapa, no contará con espacios físicos para sus operaciones, siendo el objetivo principal en dicha etapa el desarrollo de proyectos integradores que pongan de manifiesto las capacidades humanas y de infraestructura con las que cuenta el país en este tema.

En el marco de este proyecto, fueron aprobados tres proyectos de CIMAV, cuyo monto supera los 30 millones de pesos, mismos que se contempla sean transferidos a las instalaciones de la futura Unidad CIMAV en Durango, así como tres plazas correspondientes a igual número de investigadores, cuyas líneas de investigación son coincidentes con las temáticas a abordar en esta Unidad. Con ellos, se trasladará equipamiento experimental a su cargo y estudiantes de maestría y doctorado.

La creación de la Unidad CIMAV en Durango, contempla su desarrollo por etapas, correspondiendo la primera de ellas, a la construcción e implementación de la operación, propuesta que ha sido sometida al Fondo Mixto CONACYT – GOBIERNO DEL ESTADO DE DURANGO, en su Convocatoria 2014-01.

En esta primera etapa se incluye, además de 3,615.9 m² de obra civil, la elaboración de un plan estratégico de ejecución en un período de dos años, que permita la operación del Centro con estándares comparables a los de un Centro de excelencia del ámbito nacional. Esto incluirá la contratación de personal científico (cátedras patrimoniales CONACYT y retenciones), personal técnico y de apoyo, el diseño y puesta en operación de programas de posgrado y cursos de capacitación, así como laboratorios en las áreas de vocación del Centro.

Se contempla asimismo, la elaboración y ejecución de estrategias orientadas a establecer la vinculación con los diversos sectores de la sociedad del Estado de Durango, de tal forma que el conocimiento y la tecnología generada tengan impacto inmediato en el desarrollo económico de la región.

3.3. Detalle de empresas en el área de especialización

La Tabla 7 muestra las empresas activas en esta área en Durango. Puede observarse que se trata de un sector industrial incipiente, por lo que es importante que se desarrollen incentivos para atraer nuevas inversiones y empresas.

Tabla 7. Empresas dedicadas a la producción y venta de equipo y servicios para energías renovables

| Empresa | Actividad |
|---------|-----------|
|---------|-----------|

| | |
|--|---|
| EOSOL Energy México – | Es una empresa productiva líder en el sector de energía fotovoltaica |
| Energía Solar SYSCOM | Sistemas de energía solar; electrónica; sistemas de seguridad |
| SolarTec | Empresa dedicada a ofrecer soluciones de energías renovables mediante la fabricación de paneles fotovoltaicos, perteneciente a un grupo empresarial conformado por CATSA, Conduotec, Paktec, Ecotek |
| Servicios Técnicos Industriales de Durango | Distribución, fabricación e instalación de sistemas de energía fotovoltaica. Conexión a red, Sistemas aislados, Solar térmica |
| Solarmax | Calentadores solares |
| Simosol Durango | Instalación de paneles solares; sistemas de calentamiento de agua |
| IMEE Automatización | Ahorro de energía |
| Proyectos Integrales de Desarrollo | Construcción de biodigestores |
| Ingeniería y Manufacturas Eléctricas S. A. de C. V. | Empresa dedicada a la fabricación de equipo eléctrico |
| Comisión Federal de Electricidad | Compañía compradora y transportadora de la energía renovable generada por empresas productivas |

Fuente: CamBioTec A.C., 2014, con base en información de los sitios web de las organizaciones.

3.4. Evolución de apoyos en el área de especialización

Las siguientes instituciones ofrecen apoyo para el desarrollo de este sector:

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT.

- Mediante el Fondo Sectorial de Energía SENER-CONACYT, se apoyan proyectos de alto impacto.

- Fondo Mixto Durango: ofrece apoyos para atender demandas específicas definidas por el gobierno del estado.
- Fondos de apoyo al desarrollo tecnológico y la innovación: PEI, Finnova y FIT

Secretaría de Energía, a través del citado Fondo Sectorial SENER-CONACYT y el Fondo Sectorial CFE-CONACYT.

Instituto Nacional del Emprendedor, INADEM, mediante apoyos para capacitación, equipamiento, desarrollo de proveeduría nacional y desarrollo regional.

Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de Energía, SENER. Impulsa al sector energético con proyectos, programas y acciones para conseguir un mayor uso de las fuentes de energía renovable y las tecnologías limpias.

Fondo Sectorial de Sustentabilidad Energética, SENER-CONACYT. Apoya a instituciones de educación superior y centros de investigación que promuevan la innovación e investigación científica y tecnológica para fuentes renovables de energía, eficiencia energética, uso de tecnologías limpias y la diversificación de fuentes primarias de energía.

Incentivos fiscales

Arancel cero: exime del pago de impuesto general de importación o de exportación a equipos anticontaminantes y sus partes: maquinaria, equipo, instrumentos, materiales, animales, plantas y demás artículos para investigación y desarrollo tecnológico.

Depreciación acelerada de activos fijos: permite la depreciación del 100% de las inversiones en equipo y maquinaria para la generación de energía a través de fuentes renovables (ProMéxico, 2013).

Otras fuentes de Financiamiento

- **Nacional Financiera, S.N.C. (NAFIN)** se encarga de financiar el desarrollo de proyectos de Energías Renovables a través del fondeo con recursos de organismos internacionales, financiamiento con emisión de capital y colocación de deuda para proyectos en construcción o en operación.
- **Banco Nacional de Obras y Servicios, S. N.C. (BANOBRAS):** Banco de Desarrollo que trabaja con el sector público y privado a través del financiamiento de proyectos de infraestructura y servicios públicos de los gobiernos locales, apoya su fortalecimiento financiero e institucional y promueve la inversión y financiamiento privado.
- **Banco Nacional de Comercio Exterior (Bancomext):** cuenta con fondeo externo para proyectos sustentables a largo plazo que incluyen proyectos de generación de Energías Renovables, protección y mejora ambiental y Mecanismos de Desarrollo Limpio.
- **Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO):** financia la instalación de tecnologías de Energías Renovables y eficiencia energética utilizadas en agronegocios de áreas rurales.
- **Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE):** Financiamiento a proyectos de generación y cogeneración de energía eléctrica hasta de 500 KW, para la adquisición e instalación de equipos y sistemas, con el uso de fuentes de Energías Renovables (ProMéxico, 2013).

Programas

Servicios Integrales de Energía (SIE) para Pequeñas Comunidades Rurales en México: proyecto de electrificación rural que tiene como objetivo proveer de servicio eléctrico a aquellas comunidades aisladas del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) con fuentes renovables. Este programa tiene como meta beneficiar a 50,000 viviendas

(aproximadamente 250,000 habitantes) en un período de ejecución de cinco años. La primera fase se desarrolla en los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz.

Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México 2007-2012 (PROCAL SOL): programa que impulsa el ahorro de energía en el calentamiento de agua de los sectores residencial, comercial, industrial y agrícola.

Programa de Fomento de Sistemas Fotovoltaicos en México (PROSOLAR): programa que pretende impulsar en el corto y mediano plazo la tecnología solar fotovoltaica y garantizar el crecimiento del mercado con calidad. Esto a través de cuatro líneas de acción: 1) marco regulatorio y normativo adecuado, 2) financiamiento, 3) capacitación; e 4) información y difusión (ProMéxico, 2013).

Instituciones estatales

Adicionalmente, las siguientes instituciones estatales ofrecen apoyo a la innovación en el sector:

Grupo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango: de acuerdo con la Ley para el Fomento, Uso y Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía del Estado de Durango y sus Municipios, le corresponde:

- I. Impartir e impulsar en la educación técnica medio superior, y en las modalidades de bachillerato que imparte; estudios que desarrollen temas en la presente materia;
- II. Brindar apoyo cuando así se lo soliciten, respecto de estudios e investigaciones en la materia;
- III. Realizar estudios e investigación sobre, el aprovechamiento de la energía solar en calentadores de agua, en la generación de energía eléctrica, la aplicación de sistemas para racionalizar el uso y el reciclaje de agua, así como de desechos

orgánicos e inorgánicos, las condiciones acústicas y de radiación solar en todas sus variantes, iluminación y ventilación natural del entorno, ganancia térmica, protección solar y del viento en el diseño arquitectónico y la utilización de material reciclado para la construcción, cuando así le sea posible y dentro de las posibilidades académicas con que cuente.

Secretaría de Desarrollo Económico. De acuerdo con la Ley, esta Secretaría tiene las siguientes funciones:

- I. Elaborar programas de impulso al desarrollo de los sectores productivos, relacionados con la sustentabilidad energética y la aplicación de fuentes renovables de energía;
- II. Fomentar proyectos encaminados a la aplicación de la energía renovable y la eficiencia energética, en los sectores productivos;
- III. Elaborar un catálogo con las principales empresas relacionadas con el mercado de las fuentes renovables de energía y la sustentabilidad energética, con el propósito de promover la oferta de productos y servicios en esta materia.

Comisión Intersecretarial para el Desarrollo de Energías Renovables. Un órgano de consulta creado por Ley, con las funciones de coordinación, asesoría y opinión en la materia, que tendrá por objeto, el ahorro y uso eficiente de la energía, así como el fomento y aprovechamiento de las fuentes renovables de energía en el Estado. El objeto principal de la Comisión, será el de fomentar el uso y aprovechamiento de las energías renovables del Estado de Durango, teniendo siempre como prioridad y enfoque, aquélla o aquéllas energías renovables que por la situación geográfica de la entidad, sea más factible explotar, producir y aprovechar.

4. ANÁLISIS FODA DEL ÁREA DE ESPECIALIZACIÓN

Con base en el taller de consulta, las entrevistas con líderes de opinión del sector y la visita a empresas, se elaboró el siguiente análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas para la generación, uso y consolidación de la innovación en esta área de especialización.

4.1. Fortalezas

- Programas de formación de recursos humanos calificados
- Programas de investigación y posgrado en sistemas eléctricos
- Existencia de la Ley de Fomento, Uso y Aprovechamiento de Fuentes Renovables de Energía
- Creación de la Comisión Intersecretarial
- Operación de empresas privadas activas en el sector
- Experiencia en la instalación de plantas
- Consenso político de impulsar esta área de especialización
- Atracción de la Unidad CIMAV

4.2. Oportunidades

- Mercado creciente de energía
- Posibilidades de cooperación científica y tecnológica a través del CEMIE-Sol
- Nueva legislación del sector que establece estímulos a la inversión
- Aceptación social amplia
- Un gobierno que busca impulsar este sector como palanca de competitividad

- Existencia de fondos sectoriales, mixtos y especializados para financiar la innovación en el sector
- Recursos crecientes para ciencia, tecnología e innovación por la meta de llegar al 1% del PIB en 2018

4.3. Debilidades

- Carencia de recursos humanos calificados para eslabones específicos de la cadena de valor
- Escasos recursos estatales para fomentar la investigación, la innovación y la creación de nuevas empresas
- Falta de capacidades de investigación de vanguardia
- Escasa vinculación de los oferentes de conocimiento con las empresas
- Infraestructura tecnológica escasa y concentrada en pocas instituciones
- Falta de instrumentos financieros de riesgo para promover la innovación
- Escasa experiencia en innovación industrial
- Baja transferencia de tecnología

4.4. Amenazas

- Dependencia de empresas extranjeras para la instalación de plantas
- Competencia de otros estados del país para atraer inversiones y fondos para innovación
- Débiles encadenamientos productivos en el sector
- Posible falta de continuidad en proyectos de largo plazo

5. MARCO ESTRATÉGICO Y OBJETIVOS DEL ÁREA DE ESPECIALIZACIÓN

Ya se ha mencionado que la Ley para el Fomento, Uso y Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía del Estado de Durango y sus Municipios, expresa la misión de “establecer las bases generales para fomentar la sustentabilidad energética y promover el aprovechamiento, el desarrollo, y la inversión de las energías renovables, mediante su uso óptimo en todos los procesos y actividades, desde la explotación hasta el consumo, con el fin de ser un instrumento para la competitividad, la mejora de la calidad de la vida, la protección y la preservación del ambiente, así como el desarrollo humano sustentable en el Estado de Durango y sus Municipios” (Artículo 1). Entonces, tomando también en cuenta el análisis FODA, el objetivo de innovación es:

Contribuir a la sustentabilidad energética de Durango mediante el fortalecimiento de las capacidades de generación y asimilación de tecnologías, así como de la atracción de empresas innovadoras del sector de las energías renovables.

Los objetivos estratégicos para la Agenda Sectorial de Innovación en Energías Renovables son:

- Fomentar la investigación de vanguardia con énfasis en el aprovechamiento de la energía solar y la biomasa como fuentes renovables de energía.
- Fortalecer la formación y capacitación de recursos humanos altamente calificados para sustentar la transición energética competitiva.
- Hacer aportes innovadores para impulsar la interconexión de los nuevos sistemas de generación a la red eléctrica principal.

6. NICHOS DE ESPECIALIZACIÓN

6.1. Energía solar

La energía proveniente de la radiación del sol se puede aprovechar de tres formas, de acuerdo a la tecnología utilizada:

- **Fotovoltaica:** es la transformación de la radiación solar en electricidad a través de paneles, celdas, conductores o módulos fotovoltaicos, elaborados principalmente de silicio y formados por dispositivos semiconductores.
- **Solar de alta concentración:** paneles parabólicos que concentran la radiación solar para transformarla en energía eléctrica.
- **Térmica:** es el aprovechamiento de la radiación solar para la captación y almacenamiento de calor a través de colectores termosolares.

Actualmente, existe un interés manifiesto en el país por contribuir al aprovechamiento de la energía solar. Prueba de ello es la reciente creación (en 2013) del Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CEMIE-Sol), auspiciado por el Fondo Sectorial SENER-CONACYT bajo el liderazgo del Instituto de Energías Renovables de la UNAM.

Objetivos específicos en energía solar para el estado:

- Desarrollar materiales fotovoltaicos de alta eficiencia y sistemas de depósito químico.
- Desarrollar tecnologías de concentración solar, tanto colectores de concentración solar como la óptica de los sistemas de concentración, estudios térmicos en los receptores y el desarrollo de materiales absorbentes y reflejantes, así como de los procesos que utilizan la energía solar concentrada para transformarla en otras formas de energía útiles.
- Vincular las investigaciones del Centro con las empresas que operan en la entidad y otras que tienen proyectos productivos en el país.

- Desarrollar un programa de posgrado en energía solar que forme la base de nuevos investigadores para el Centro y otras instituciones de educación superior en el estado.
- Definir e impulsar un activo esquema de cooperación científica y tecnológica con instituciones de educación superior, centros de investigación y empresas de México y otros países

6.2. Energía eólica

Una planta de generación de energía eléctrica del tipo eólica está integrada por una turbina, una caja de engranes (opcional), un generador eléctrico, un convertidor electrónico, y un transformador, entre otros componentes. La función de la turbina es la de convertir la energía de la velocidad del viento en energía mecánica. El generador eléctrico convierte esa energía mecánica en energía eléctrica. La función del convertidor electrónico es proveer un medio que permita el acondicionamiento de la energía generada y su envío a la carga local o a la red eléctrica. Finalmente, se tiene al transformador que eleva la tensión del voltaje entregada por el inversor electrónico al nivel de la red eléctrica de transmisión. En las últimas dos décadas se ha tenido un crecimiento exponencial en la capacidad instalada de plantas eólicas a nivel mundial (Arjona, 2014).

El grupo de investigación del Instituto Tecnológico de La Laguna ha iniciado un proyecto para diseñar sistemas que no emplean cajas de engranes para evitar el ruido, y que usan generadores eléctricos de imanes permanentes sin escobillas con alta eficiencia. Este proyecto está aprobado en la cartera de proyectos del Centro Mexicano de Innovación en Energía Eólica (CEMIE-Eólico) y representa una oportunidad para transferir sus resultados a la industria y generar capacidades en Durango, si se promueve la participación de los institutos tecnológicos del estado.

6.3. Bioenergía

La bioenergía es la energía que se obtiene de la biomasa y se presenta en una gran variedad de formas. Puede obtenerse a partir de los biocombustibles sólidos como la leña, el carbón vegetal o los residuos agrícolas (que pueden quemarse directamente o gasificarse para producir calor y electricidad), los cultivos energéticos (como la caña de azúcar y plantas oleaginosas, de las que se extraen combustibles líquidos como el bioetanol y el biodiesel), y los residuos municipales y el estiércol (de los que pueden obtenerse combustibles gaseosos como el biogás). La bioenergía puede ser también una fuente de hidrógeno para producción de energía.

Como se ha mencionado anteriormente, en el estado de Durango se identifica potencial para generar energía combustible y/o eléctrica a partir de materia orgánica, a partir del aprovechamiento del estiércol del ganado o los residuos agroindustriales (producción de mezcal y residuos de la actividad forestal).

La consideración de este subsector como nicho de especialización en la Agenda Sectorial de Innovación, contribuirá a la consolidación en I+D+i para el aprovechamiento de esta fuente potencial de energía.

7. CARACTERIZACIÓN DE PROYECTOS PRIORITARIOS Y PLAN DE PROYECTOS

7.1. Descripción de proyectos prioritarios

A continuación se presenta la descripción de los proyectos y la ilustración del mapa de ruta respectivo, por cada *Nicho de Especialización* en Energías Renovables.

7.1.1. Energía solar

Programa de investigación en energía solar dentro del naciente Centro de Innovación y Competitividad en Energía Renovable y Medio Ambiente (Unidad CIMAV Durango).

Objetivo: Formar recursos humanos, realizar investigación y desarrollo de frontera en energías renovables, con una clara vocación de vinculación, enfocada a actividades que promuevan la economía sustentable y la competitividad de la región.

Justificación: La clave de la rentabilidad del sol como fuente de energía está en la disponibilidad de dispositivos eficientes, los cuales dependen en gran medida de la calidad de los materiales de celdas y concentradores. Por ello, un programa de investigación encabezado por el CIMAV Durango y articulado con el Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CEMIE-Sol) puede hacer aportes relevantes a la industria interesada.

En 2014 se inició la construcción del CIMAV con apoyo de los gobiernos federal y estatal. La experiencia y capacidades del Centro son la base para estructurar un programa de investigación con fuerte orientación a las aplicaciones de la energía solar, tanto en la modalidad de conversión fotovoltaica como en el aprovechamiento termosolar.

Asimismo, la participación del nuevo Centro en la formación de recursos humanos es crucial, dado que los programas actuales de las instituciones de educación superior de Durango carecen de capacidades de investigación y se limitan a formar ingenieros.

Descripción: Se trata de un programa que constituiría el plan de acción inicial de la Unidad CIMAV en Durango en Energía Solar. El CIMAV aportará los primeros investigadores consolidados y comenzará con actividades de formación a nivel de posgrado, ligadas a proyectos de investigación relacionados con los objetivos específicos enunciados. Es recomendable que este programa de posgrado tenga relación con la Universidad Tecnológica de Durango que forma licenciados en Energía Renovable, pues los egresados pueden ser el primer semillero para una maestría.

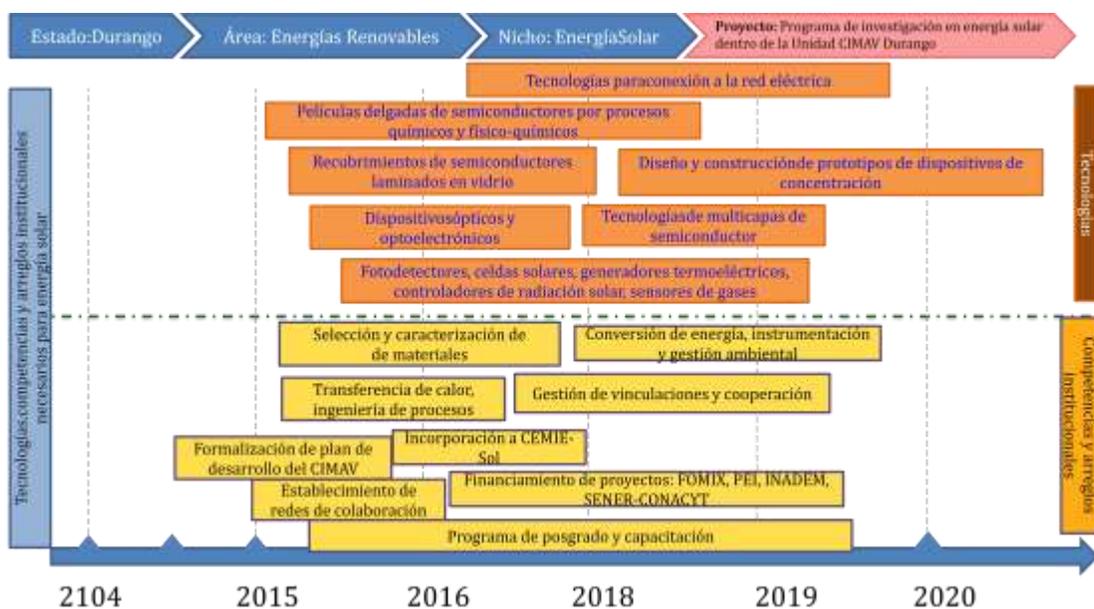
Por otro lado, los proyectos iniciales de investigación pueden inscribirse en las prioridades actuales del CIMAV, toda vez que se trata de desarrollo de materiales de alta eficiencia y sus aplicaciones. Es altamente recomendable que el nuevo Centro establezca nexos de colaboración con el CEMIE –Sol, pues es la estructura de investigación líder en la materia, que puede ofrecer acceso a información y recursos muy valiosos para el inicio de operaciones.

Factores críticos de éxito. El éxito de este programa depende de factores como:

- Participación de las instituciones de educación superior de Durango en actividades de investigación del nuevo Centro.
- Que el CIMAV Durango tenga el liderazgo y coordinación del programa de investigación y que avance pronto en la constitución de una red estatal de formación de recursos humanos e investigación.
- Que se logre la participación de empresas privadas para generar modelos de negocio a partir de los resultados de los proyectos.
- Que se estructure a la brevedad una cartera de proyectos relacionada con los objetivos específicos propuestos.
- Que se inyecten recursos de FOMIX, Fondo SENER-CONACYT y empresas de energía solar para financiar proyectos específicos.

- Que cada proyecto individual tenga definida una estrategia de transferencia de tecnología en el contexto de su plan de negocio.
- Que se incorporen tecnologías y competencias básicas y que se formalice un conjunto de arreglos institucionales requeridos para que los proyectos sean viables, de acuerdo con lo mostrado en el siguiente mapa de ruta.

Ilustración 8. Mapa de ruta del proyecto de investigación en energía solar



Fuente: CamBioTec A.C., 2014.

7.1.2. Energía eólica

Diseño, construcción y transferencia de tecnología de generadores eléctricos síncronos de imanes permanentes y de inducción doblemente alimentados para plantas eólicas.

Objetivo: Diseñar, probar y transferir equipo de generación para granjas eólicas, fortaleciendo la capacidad de los Institutos Tecnológicos de Durango, mediante la

cooperación interinstitucional, incluyendo al Instituto Tecnológico de la Laguna y la formación de recursos humanos a nivel de posgrado dentro del Estado de Durango.

Justificación. Las máquinas eléctricas tienen un papel fundamental en los aerogeneradores. Los generadores de inducción doblemente alimentados sin escobillas han sido estudiados recientemente y se han reportado buenos resultados. La ventaja que tiene este tipo de generador de inducción con respecto a los que tienen escobillas es que son libres de mantenimiento, lo cual reduce los costos de operación. Ambos tipos de generadores usan un convertidor de potencia reducida para el devanado de control, lo que los hace atractivos en sistemas de generación eólica. Sin embargo, la eficiencia de este generador es inferior a la del generador con escobillas, con una diferencia de hasta 7% lo que lleva a bajos niveles de potencia. En el diseño de este tipo de generadores, se han empleado métodos de diseño convencionales, por lo que la aplicación de nuevas técnicas de diseño puede conducir a la creación de elementos más eficientes que capitalicen las ventajas de los generadores sin escobillas.

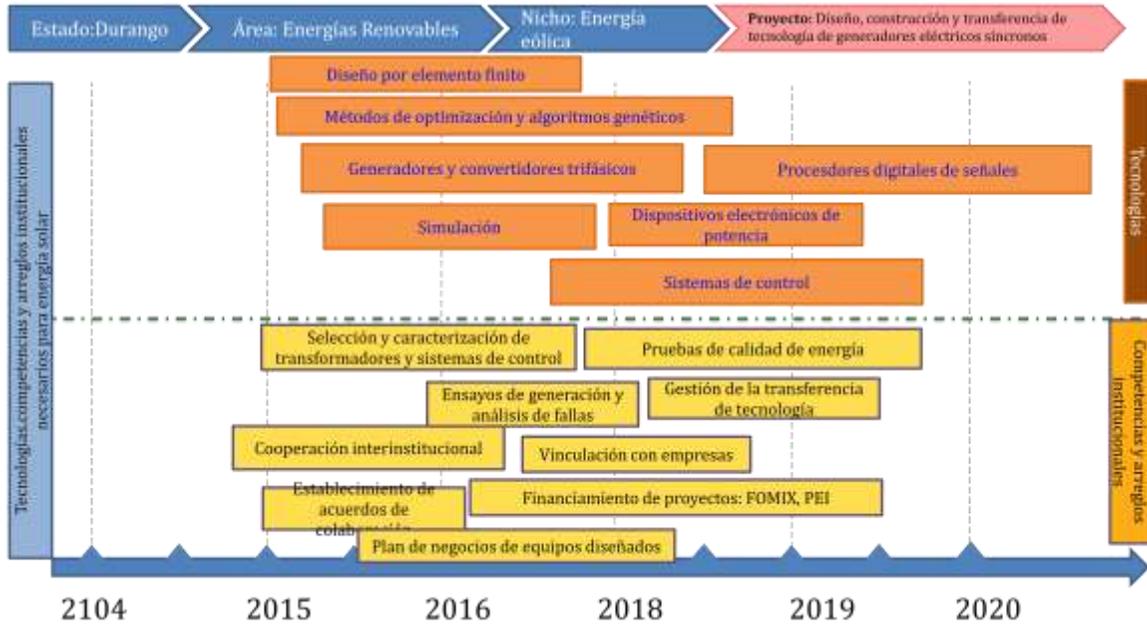
Estos equipos pueden integrarse a las granjas eólicas existentes y mejorar su operación, reduciendo además los efectos de ruido propios de los aerogeneradores que usan engranes.

Descripción: Se trata de aprovechar la capacidad de diseño del Instituto Tecnológico de La Laguna mediante una red colaborativa entre dicho instituto y las instituciones de Durango, obteniendo financiamiento complementario al del CEMIE-Eólico, de manera tal, que se pueda diseñar y probar equipo complementario, lo cual permita integrar un paquete tecnológico más atractivo para empresas interesadas en la fabricación y comercialización de estos equipos. Además, se tendría el beneficio de incorporar otros estudiantes de posgrado, con la consecuente ventaja de creación de capacidades de diseño de equipo eléctrico en Durango.

Factores críticos de éxito.

- Liderazgo del Instituto Tecnológico de Durango.
- Formalización de la colaboración con el Instituto Tecnológico de La Laguna
- Definición de un programa de trabajo para las instituciones cooperantes, con una fuerte orientación a la generación de soluciones técnicas para asegurar la calidad de energía de acuerdo con las normas.
- Mantener la articulación con los trabajos del Centro Mexicano de Innovación en Energía Eólica (CEMIE-Eólico).
- Gestión de financiamiento complementario para sustentar las actividades de instituciones cooperantes. Éste puede provenir del FOMIX Durango y del Fondo Sectorial de Energía.
- Contemplar proyectos vinculados dentro del PEI (Proinnova) bajo el liderazgo de empresas interesadas en fabricar equipo eléctrico y de control (particularmente IMESA que ya participa en el proyecto) para generar una cadena de suministro.
- Contar con la colaboración de LAPEM para pruebas eléctricas.
- Vincular el proyecto con programas de posgrado en ingeniería eléctrica y control.
- Ofrecer a los desarrolladores potenciales de parques eólicos en México programas de capacitación y difusión sobre estas opciones de generación.
- Integrar un paquete tecnológico probado para que esté listo para su transferencia.

Ilustración 9. Mapa de ruta del proyecto sobre generadores eléctricos síncronos



Fuente: CamBioTec A.C., 2014.

7.1.3. Bioenergía

La biomasa utilizada con fines energéticos constituye una fuente de energía renovable y limpia, plenamente establecida, con tecnologías maduras en la mayoría de sus distintas aplicaciones. En este marco, se ha recomendado el siguiente proyecto:

Red de desarrollo de aplicaciones de la Bioenergía en el estado de Durango.

Objetivo: Establecer una red de cooperación interinstitucional enfocada en el desarrollo de aplicaciones de las tecnologías para la generación de energía a partir del aprovechamiento de la biomasa disponible por la operación de diversas agroindustrias alimentarias y forestales.

Justificación: La bioenergía constituye uno de los pilares de la transición energética y en Durango se dan condiciones ideales para su aprovechamiento. Como

fuerza energética presenta numerosas ventajas desde la óptica socioeconómica y ambiental. En primer lugar, el aprovechamiento sustentable de la bioenergía permite crear sinergias importantes entre los sectores agrícola-forestal (en los que se realiza la producción de los combustibles), energético, industrial (particularmente en el contexto de las agroindustrias), ambiental y social. Por otro lado, debido al suministro descentralizado de los combustibles biomásicos, se puede promover el desarrollo sustentable a través de la creación de fuentes de trabajo e inversiones en el medio rural. De hecho, la bioenergía genera de 2 a 4 veces más fuentes de trabajo por unidad de energía que los combustibles fósiles. Asimismo, el uso ampliado de bioenergía puede transferir importantes recursos económicos, y con ello ingresos, desde las áreas urbanas consumidoras hacia las áreas rurales productoras de estos energéticos.

Adicionalmente, la producción sustentable de biomasa brinda numerosos servicios ambientales de tipo local y global, incluyendo el control de la erosión del suelo, la regulación del ciclo hidrológico y la protección de las áreas de hábitat de fauna silvestre. Si las plantaciones energéticas se establecen en tierras degradadas, es posible rehabilitar mejorando la calidad y fertilidad del suelo. Utilizada sustentablemente, la bioenergía contribuye a la mitigación del cambio climático, ya que no genera emisiones netas de CO₂. Asimismo, la conversión de desechos orgánicos en combustible, además de proporcionar energía, reduce los daños ambientales asociados a su inadecuada disposición (por ejemplo, la contaminación del aire y el agua, aumento de plagas y enfermedades, deterioro del paisaje y calidad de vida de las poblaciones humanas).

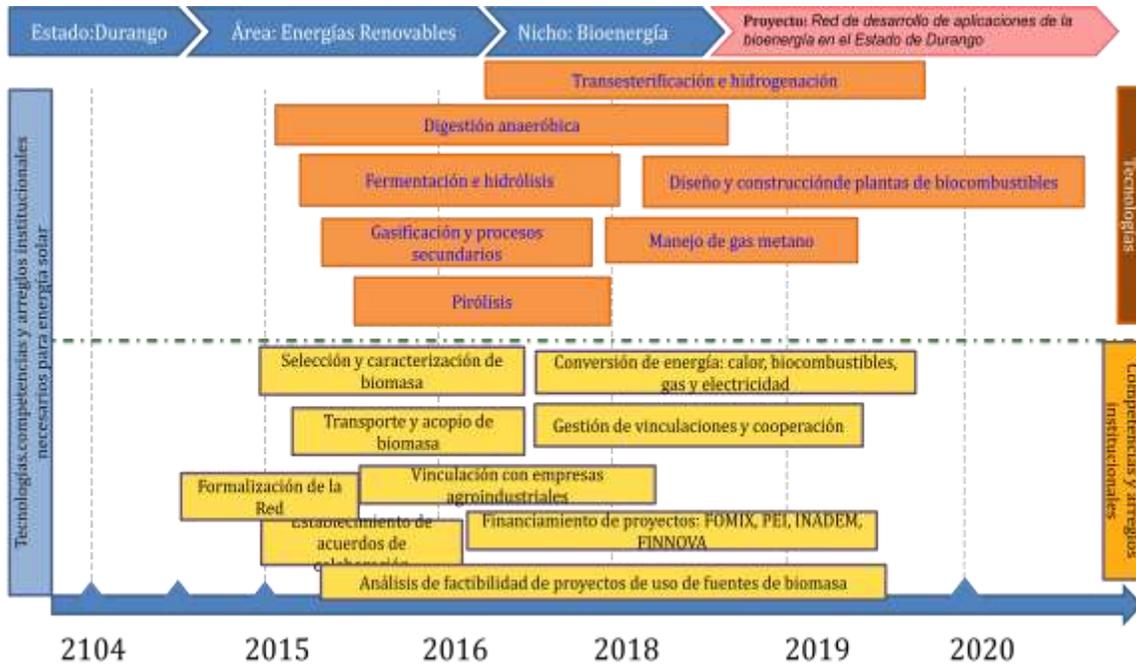
Descripción: Se trata de un proyecto de mediano plazo que requiere la colaboración entre diversas instituciones académicas y las agroindustrias líderes en Durango. El proyecto puede ser liderado por el Instituto Tecnológico de Durango que cuenta con capacidades destacadas y experiencia en investigación biotecnológica para manejo de procesos de fermentación, biocatálisis y recuperación de productos. Es importante

involucrar en el proyecto a otras instituciones de educación superior, así como al CIDIIR, el INIFAP y el INECOL.

Factores críticos de éxito.

- Liderazgo por parte del CIDIIR Durango.
- Alianza para ejecutar proyectos de aplicación con empresas como Grupo Lala (ya tiene experiencia en el tema), Tyson, empresas forestales y ganaderas.
- Financiamiento inicial del Fondo Mixto Durango.
- Establecer una cartera de proyectos de aplicación. Cada proyecto aprobado en la red debe contar con un usuario empresarial de los resultados y un análisis de técnico y económico que demuestre su factibilidad.
- Realizar una activa gestión de financiamiento de programas como el PEI, INADEM y FINNOVA.
- Adopción de un enfoque pragmático para generar resultados concretos en un plazo corto, para lograr mayor nivel de motivación del sector empresarial.
- Los proyectos para el PEI deben estar encabezados por empresas interesadas en aprovechar sus fuentes de biomasa.

Ilustración 10. Mapa de ruta del proyecto de red de desarrollo de aplicaciones de la Bioenergía



Fuente: CamBioTec A.C., 2014.

7.1.4. Proyectos complementarios

Red para el desarrollo y transferencia de tecnología para climatización de invernaderos.

Objetivo: Utilizar la energía solar para regular la temperatura de invernaderos utilizando bombas de calor o sistemas de refrigeración.

Justificación: La agricultura protegida es una actividad importante en Durango. Uno de los rubros de costo más importantes es el mantenimiento de condiciones de temperatura adecuadas en los invernaderos. Los dispositivos solares representan una opción económica, pero se requiere la tecnología diseñada para las condiciones específicas de la región.

Descripción: Se trata de estructurar una red de colaboración entre las instituciones que trabajan en energías renovables en el estado, con el fin de compartir conocimientos a efectos de ofrecer soluciones efectivas para las necesidades del sector agrícola. La red podría ser coordinada por la Universidad Tecnológica de Durango y es importante que participen en la red las empresas activas en el estado que tienen la experiencia en instalación de dispositivos solares.

Evaluación técnico-económica del uso de aerogeneradores pequeños en áreas urbanas y rurales.

Objetivo: Analizar la factibilidad de aplicación de aerogeneradores de baja escala para electrificar pequeñas poblaciones o dotar de energía a microindustrias.

Justificación: La energía eólica es una fuente renovable de bajo costo que puede ser una opción en áreas donde se tiene un nivel alto o medio de velocidad del viento. En diversos países, se ha trabajado en la generación de electricidad con dispositivos de pequeña escala. Tan solo dos esfuerzos de desarrollo de aerogeneradores han logrado tocar el terreno comercial. Uno de ellos es de la empresa *Aeroluz* y el otro de la empresa *Potencia Industrial*, ambas diseñan y fabrican pequeñas turbinas eólicas de 5 kW y 10 kW. La Universidad Autónoma de Querétaro ha comenzado un proyecto para el diseño de un prototipo de turbina de baja escala. A pesar de esto, no hay evidencia de que la tecnología existente constituya una opción factible, por lo que un estudio comprehensivo de las opciones y su desempeño resulta una actividad indispensable para que esta tecnología y sus beneficios tengan la difusión que se espera.

Descripción: Se trata de un estudio de factibilidad que puede ser financiado por el FOMIX Durango. Se considera que el Instituto Tecnológico de Durango podría hacerse cargo de esta investigación. Los resultados deben difundirse ampliamente para que las autoridades

competentes puedan usarla para tomar decisiones en materia de aplicación de estos generadores de baja escala.

Diseño de un programa para el manejo integral de excretas para la generación de biogás

Objetivo: Aprovechar los altos volúmenes de excretas que se generan en el estado para la generación de energía.

Justificación: El estado de Durango destaca por sus actividades agropecuarias, principalmente producción de rumiantes y aves de corral, mismas que generan una gran cantidad de desechos orgánicos con potencial para ser aprovechados como materia prima para la producción de biogás.

Como resultado de las necesidades por optimizar el aprovechamiento de los materiales orgánicos, así como de disminuir la acumulación de residuos que representan fuentes de contaminación de suelo y agua, se considera como alternativa canalizar estos materiales residuales hacia la generación de combustible o como proceso precursor de generación eléctrica, a partir de la obtención de biogás.

Descripción: la realización de este proyecto propone el diseño e implementación de una estrategia de manejo de desechos orgánicos de la actividad pecuaria, principalmente estiércol de rumiantes y camas de las naves de aves de corral, incorporándolos como materia prima para la generación de biogás.

Con este insumo obtenido se podrá aprovechar como combustible o bien en una segunda secuencia, en la generación de energía eléctrica.

La propuesta considera esta alternativa para reducir la acumulación de los desechos, contribuyendo a la reducción del foco de contaminación que evidentemente representan, para mejorar las condiciones ambientales de las cuencas productoras, y ofreciendo un segundo beneficio para el estado, al participar en la generación de energía.

Posgrado interinstitucional en Energía Renovable.

Objetivo: Crear una maestría interinstitucional que pueda cubrir las necesidades estatales en materia de recursos humanos calificados para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía.

Justificación: La Ley para el Fomento, Uso y Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía del Estado de Durango y sus Municipios establece objetivos y condiciones para el desarrollo de esta área de especialización. Sin embargo, no se cuenta con la plataforma de formación de los recursos humanos especializados necesarios para el desarrollo, aplicación y difusión amplia de las tecnologías relacionadas. Esto indica claramente la necesidad de crear una opción formativa de calidad en el estado.

Descripción: Según la Ley, el Grupo Estatal de Ciencia y Tecnología tiene la competencia para impulsar actividades de formación. Por ello, dicho Grupo puede actuar como coordinador de un esfuerzo interinstitucional para la creación de una maestría en la que cada institución participante ofrezca sus recursos humanos e infraestructura de mejor calidad para sustentar el programa académico.

7.2. Matriz de proyectos

Tabla 8. Matriz de proyectos del Área de Especialización en Energías Renovables

| Nicho | Proyecto Prioritario (P), complementario (C) | Descripción | Posibles fuentes de financiamiento | |
|----------------|---|---|--|---|
| Energía solar | P | Programa de investigación en energía solar dentro del nascente Centro de Innovación y Competitividad en Energía Renovable y Medio Ambiente (Unidad CIMAV Durango) | Formar recursos humanos, realizar investigación y desarrollo de frontera en energías renovables con una clara vocación de vinculación, enfocada a actividades que promuevan la economía sustentable y la competitividad de la región | CFE-CONACYT, Fondo SENER-CONACYT, Fondos Mixtos Durango; INADEM |
| | C | Red para el desarrollo y transferencia de tecnología para climatización de invernaderos | Utilizar la energía solar para regular la temperatura de invernaderos utilizando bombas de calor o sistemas de refrigeración | CFE-CONACYT, Fondo SENER-CONACYT; SAGARPA, INADEM |
| Energía Eólica | P | Diseño, construcción y transferencia de tecnología de generadores eléctricos síncronos de imanes permanentes y de inducción doblemente alimentados para plantas eólicas | Diseñar, probar y transferir equipo de generación para granjas eólicas, fortaleciendo la capacidad del Instituto Tecnológico de la Laguna mediante la cooperación interinstitucional y la formación de recursos humanos a nivel de posgrado dentro del Estado de Durango | CFE-CONACYT, Fondo SENER-CONACYT, Fondo sectorial horizonte 2020; PEI; INADEM |
| | C | Evaluación técnico-económica del uso de aerogeneradores pequeños en áreas urbanas y rurales | Analizar la factibilidad de aplicación de aerogeneradores de baja escala para electrificar pequeñas poblaciones o dotar de energía a microindustrias | CFE-CONACYT, Fondo SENER-CONACYT, FONIX Durango, PEI (PROINNOVA); INADEM |
| Bioenergía | P | Red de desarrollo de aplicaciones de la Bioenergía en el Estado de Durango. | Establecer una red de cooperación interinstitucional enfocada en el desarrollo de aplicaciones de las tecnologías para la generación de energía a partir del aprovechamiento de la biomasa disponible por la | Fondo SENER-CONACYT, PEI, FINNOVA; INADEM |

| | | | | |
|--------------------------------------|--|---|--|---------------------------------|
| | | | operación de diversas agroindustrias alimentarias y forestales. | |
| | Diseño de un programa para el manejo integral de excretas para la generación de biogás | C | Aprovechar los altos volúmenes de excretas que se generan en el estado para la generación de energía. Proyecto no definitivo y en revisión | PEI, INDEM |
| Transversal a los tres Nichos | Posgrado interinstitucional en Energía Renovable | C | Crear una maestría interinstitucional que pueda cubrir las necesidades estatales en materia de recursos humanos calificados para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía | Fondo SEP-CONACYT; PROMEP (SEP) |

8. REFERENCIAS

- ABC.es. 2014. Acosta A. *La mayor planta solar térmica del mundo está en el desierto de Mojave*. Revista electrónica Natural. Disponible en: <http://www.abc.es/natural-energiasrenovables/20140228/abci-planta-solar-termica-mojave-201402281019.html>; 20 de noviembre de 2014.
- ABC.es. 2014. *Crean la primera batería solar del mundo*. En Revista electrónica ABC.es/Ciencia. Disponible en: <http://www.abc.es/ciencia/20141003/abci-crean-primera-bateria-solar-201410031738.html>; 24 de noviembre de 2014.
- Agenda Ciudadana de Ciencia e Innovación, Unión Europea (Agenda Ciudadana). 2010. Reto 2030. Disponible en: http://www.reto2030.eu/retos/reto_2.html?retold=2; 24 de noviembre de 2014.
- Alatorre Frenk Claudio, *Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México 2009*, Secretaria de Energía (SENER), Edición septiembre 2009: versión en español 1000 ejemplares.
- Asociación Nacional de Energía Solar (ANES). 2010. "Balance Nacional de Energía 2010", Obtenido el 1o de diciembre de 2011, de la página: http://www.anes.org/anes/index.php?option=com_wrapper&Itemid=13
- Arjona, M. 2014. PROYECTO NÚMERO P10. Diseño, Análisis y Construcción de Generadores Eléctricos Síncronos de Imanes Permanentes y de Inducción Doblemente Alimentados para Plantas Eólicas, CEMIE-Eólico, Cuernavaca.
- Beltrán Rodríguez Leonardo, Calva González Nacxitl, Cordero Lovera Adrián, Sánchez Adán Ricardo, Valenzuela Robles Linares José María, *Prospectiva de Energías Renovables 2013-2027, México*. Secretaría de Energía, recuperado de http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Prospectiva_Energias_Renovables-2013-2027.pdf
- Bullis K.; trad. Francisco Reyes. 2013. *Un material para generar energía solar a precio "casi regalado"*. MIT Technology Review. Disponible en: http://www.technologyreview.es/read_article.aspx?id=43661; 25 de noviembre de 2014.
- Centro de Estudios de las Energías Renovables (CEENER), recuperado <http://institutodeingenieria.uabc.mx/index.php/investigacion/energias-renovables>
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). 2010. Unidades Generadoras en Operación. Capacidad, 2009. Comisión Federal de Electricidad. México: 130.

- CIDET. 2014. Paneles solares a base de perovskita favorecen la producción solar. Disponible en: <http://www.cidet.org.co/corporativo/noticias/paneles-solares-a-base-de-perovskita-favorecen-la-produccion-solar>; 24 de noviembre de 2014.
- CIINDET. 2010. Integración de Generación Eólica en Sistemas de Energía Eléctrica.
- CFE. Comportamiento de los Contratos de Interconexión en pequeña y mediana escala, disponible en: <http://www.cre.gob.mx/documento/2109.pdf>; 31 de diciembre de 2011.
- Comisión Reguladora de Energía (CRE). 2010. "Permisos para la Generación Privada." Recuperado el 6 de enero de 2011, de: <http://cre.gob.mx/articulo.aspx?id=171>
- Crisp Green. 2010. *GE Ecomagination Challenge Winners Announced*. Live OAK Media, 2010. Disponible en: <http://crispgreen.com/2010/11/ge-ecoimagination-challenge-winners-announced/>; 25 de noviembre de 2014.
- Darhmouth/Petrenko Ice Management Technology. S/a. PETD wind blade anti-icing deicing short. Disponible en: <http://www.polar-star.us/>; 25 de noviembre de 2014.
- El constructor. 2012. "Wind Lens", un nuevo tipo de generador eólico. Revista electrónica El constructor. Disponible en: <http://www.elconstructor.com.mx/index.php/secciones/desarrollo-sustentable-y-medio-ambiente/189-wind-lens-un-nuevo-tipo-de-generador-eolico>; 23 de noviembre de 2014.
- Energías alternativas en México, recuperado de <http://www.promexico.gob.mx/desarrollo-sustentable/energias-alternativas-en-mexico.html>
- Energías Renovables PROMEXICO, recuperado de http://www.promexico.gob.mx/es_us/promexico/Renewable_Energy
- Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologie*, Sales and Promotion Unit, Publishing Section International Atomic Energy Agency, IAEA, 2005 Printed by the IAEA in Austria
- Estrada Gasca Claudio A., Jorge Islas Samperio, *Energías Alternas: Propuesta de Investigación y Desarrollo tecnológico para México*, primera edición 2010 Academia Mexicana de Ciencias, impreso y hecho en México.
- Foro Internacional de Energías Renovables, Cancún, Quintana Roo. México. Mayo 2014.

- Hiriart G. (2011), Evaluación de la Energía Geotérmica en México, Informe para el BID. México.
- IIE. (2010), "Explorador de Recursos Renovables." Obtenida el 10 de enero, 2011, de la página <http://sag01.iie.org.mx/eolicosolar/Default.aspx>
- Instituto de investigaciones legislativas del Senado de la Republica. *Nuevas Energías Renovables: una alternativa Energética sustentable para México (Análisis y Propuesta)*, recuperado de http://xml.cie.unam.mx/xml/se/pe/NUEVAS_ENERG_RENOV.pdf
- Jacobson M. 2009. Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. *Energy & environment science*. 2009, 2; 148-173. Disponible en: <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/ReviewSolGW09.pdf>; 24 de noviembre de 2014.
- Las energías renovables en México y el mundo, Semblanza. Recuperado de http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4830/2/se_mblanza.pdf
- LM Wind Power. s/a. disponible en: <http://www.lmwindpower.com/>; 23 de noviembre de 2014.
- Morales, A. (2011) Cuarenta años de investigación y desarrollo en celdas solares en el CINVESTAV, Centro de Investigación y Estudios Avanzados, México, D.F.
- NRL News. 2014. *Wiens K. solar power when it's raining: NRL builds space satellite module to try*. Disponible en: <http://www.nrl.navy.mil/media/news-releases/2014/solar-power-when-its-raining-nrl-builds-space-satellite-module-to-try>; 20 de noviembre de 2014.
- Pedraza Hinojosa Emiliano. *Estadísticas e Indicadores de Energía como Herramienta para el Desarrollo de Políticas Públicas*. Seminario Internacional de Políticas Públicas y Mecanismos para el Fomento de la Eficiencia Energética en Latinoamérica. 2008
- Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Recuperado de http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/el_pnd_2013_2018_y_el_pronase_2014_2018
- Price Waterhouse Cooper (2014), Reforma energética de México, PWC, México, D.F.
- ProMéxico (2012), Es momento de renovar al planeta con México, ProMéxico, Secretaría de Economía, México, D.F.

- ProMéxico (2013) Mapa de Inversión en Energías Renovables, ProMéxico, Secretaría de Economía, México, D.F.
- Sánchez, N. (2008). El cambio global del clima y algunos efectos sobre los ecosistemas. De las bacterias al clima: un enfoque ecológico, México, D.F., UAM, pp. 207-233.
- Secretaría de Energía (SENER). Estrategia Nacional de Energía 2013. Recuperado de http://www.energia.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/ENE_2013-2027.pdf
- SENER (Secretaría de Energía). 2010a. Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables. Primera edición, México
- SENER (Secretaría de Energía). 2010b. Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025, Primera Edición, México.
- SENER (Secretaría de Energía). Estrategia Nacional de Energía 2013-2018, Primera Edición, México.
- Statoil. 2014. Hywind installation: How can we improve to bring more wind energy to the world? Disponible en: <http://innovate.statoil.com/challenges/hywind/Pages/default.aspx>; 24 de noviembre de 2014.
- Video complementario. HyWind. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=GAyPpQ4gnjg>; 24 de noviembre de 2014.
- Tendencias21. 2011. *Piacente P. nanotubos de carbono permiten el almacenamiento eficiente de energía*. Revista electrónica Tendencias21. Tendencias de la Ingeniería. Disponible en: http://www.tendencias21.net/Nanotubos-de-carbono-permiten-el-almacenamiento-indefinido-de-energia_a7050.html; 20 de noviembre de 2014.
- United States Agency for International Development (USAID). 2009. Estudio del Potencial de Exportación de Energía Eólica de México a Estados Unidos, USAID No. EPP-I-03-03-00008-00, México, D.F.
- Vercelli A. 2013. *EoleWater WMS 1000 turbina eólica de 30kw cosecha del aire más de 1000 litros de agua potable al día*. En Energías como bienes comunales, sitio web. Disponible en: <http://www.energias.bienescomunales.org/2013/02/28/eolewater-wms1000-turbina-eolica-de-30kw-cosecha-del-aire-mas-de-1000-litros-de-agua-potable-al-dia/>; 24 de noviembre de 2014.
- Yepez-García et al, "Meeting the electricity supply and demand balance in Latin America & the Caribbean", 2011.

9. APÉNDICES

Apéndice A. Talleres realizados en el área de especialización

MINUTA DEL TALLER ENERGÍAS RENOVABLES

Fecha: 9 de Julio de 2014

Hora de inicio: 9:30 hrs.

Hora de finalización: 12:30hrs.

ORDEN DEL DÍA

Taller: Energías renovables

Bienvenida y objetivo del Taller a cargo del Dr. Eliseo Medina Elizondo, director del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango.

**Consejo de Ciencia
y Tecnología del
Estado de Durango**

- Presentación general de las Agendas Estatales de Innovación, objetivos, por la Dra. María de Jesús Calleros Rincón coordinadora de las Agendas de Innovación en el Estado.
- Presentación del estudio sectorial de referencia por la M. C. Cintia Germania García Arámbula, Profesora de la Universidad Tecnológica de Durango.
- Explicación de metodología a seguir en el taller.
- Desarrollo de la dinámica del taller
- Conclusiones

Facilitadores del Taller:

Coordinadora estatal de la Agenda de Innovación Dra. María de Jesús Calleros Rincón.

RELACIÓN DE PARTICIPANTES

| ADSCRIPCIÓN | PUESTO |
|--|--|
| ITD Instituto Tecnológico de Durango | Profesores e Investigadores |
| Instituto Tecnológico Superior de Santiago | Profesores e Investigadores |
| ProMéxico | Promotora Regional |
| UJED. Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Ciencias Forestales | Representantes de la División de Posgrado |
| UJED. Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Ciencias Forestales | Coordinadores de Investigación |
| Universidad Tecnológica de Rodeo | Docentes |
| Universidad Politécnica de Durango | Profesor Investigador |
| Universidad Tecnológica de la Laguna Durango | Profesores e Investigadores |
| Universidad Tecnológica de la Laguna Durango | Departamento de Energías Renovables y Mantenimiento Área Industrial |
| Instituto Tecnológico de Durango | Profesores Investigadores |
| UTD. Universidad Tecnológica de Durango | Dirección Académica de Energías Renovables y Mecatrónica |
| Instituto Tecnológico de Durango | Estudiantes de Doctorado |
| UTD. Universidad Tecnológica de Durango | Profesores de Tiempo Completo |

Resultados del Taller

| Problema tecnológico y/o de innovación | Origen del problema | Impacto en el sector | Propuestas de innovaciones para solucionar los problemas |
|---|---|---|--|
| Falta de información sobre cuantificación, distribución de los recursos renovables. | Se carece de información fidedigna de los recursos. | Generación de empleos. | Innovación en la cadena productiva de biomasa residual. |
| No se cuenta con un sistema para recolección | Condiciones geográficas del terreno y falta de | Altos costos, y periodos largos para el | Desarrollo logístico en el sistema de transporte. |

| | | | |
|---|---|---|--|
| de biomasa residual. | transporte. | transporte. | Identificación de mercado. |
| Falta de tecnificación para separar residuos en establos y aserraderos. | El personal involucrado en el proceso no está capacitado para realizar la separación. | Beneficios económicos por el aprovechamiento de los residuos. | Desarrollo de tecnologías para separación de residuos. Capacitación al personal involucrado en el proceso. |
| Falta de valor agregado a subproductos de biomasa | Poca capacitación de los involucrados. | Disminución de costos | Bioteología aplicada a sub productos de biomasa. Investigaciones de mercado. Calderas de biomasa |
| No existe desarrollo de tecnología solar en el estado. | Sólo existen empresas integradoras, falta de productores de tecnología solar. | Mayor costo por inversión inicial en los proyectos. | Creación de sistemas de energías renovables. |
| Caracterización de la biomasa. | No se cuenta con un ordenamiento energético. | Identificación de zonas de disponibilidad. | Generación de Biocarburantes. |
| Falta de aprovechamiento de energía solar. | Los materiales son caros y poco eficientes. | Reducción de costos, sustitución de importación. | Desarrollo de materiales fotovoltaicos. |
| Investigación básica incipiente limitada. | Falta de recurso humano especializado. | Generación de conocimiento y desarrollo tecnológico. | Creación de un Centro de Investigación. |
| Falta de Investigación Básica en la Reutilización de las enzimas. | No existen usuarios biotecnológicos. | Dependencia tecnológica. | Desarrollo de trenes enzimáticos eficientes, reutilización de enzimas. |

Apéndice B: Análisis del impacto de las tecnologías para generación de energía con fuentes renovables: Resumen de Artículo

Revisión de las soluciones al calentamiento global, la contaminación ambiental y la seguridad energética.

**Mark Z. Jacobson
Energy & Environmental Science**

“Este artículo revisa y clasifica las principales soluciones relacionadas con la energía ante el calentamiento global, la contaminación del aire y la seguridad energética, teniendo en cuenta otros impactos de las soluciones propuestas, tales como: el consumo de agua, el uso del suelo, impacto en la vida silvestre, la disponibilidad de recursos, la contaminación térmica y química del agua, la proliferación nuclear, y la desnutrición. Se consideran nueve fuentes de energía eléctrica y dos opciones de combustibles líquidos. Las fuentes de energía eléctrica incluyen la energía solar fotovoltaica (PV), la energía solar concentrada (CSP), eólica, geotérmica, hidroeléctrica, de las olas (undimotriz), de las mareas (mareomotriz), la energía nuclear y el carbón con tecnología de captura y almacenamiento de carbono (CCS). Las opciones de combustibles líquidos incluyen etanol de maíz (E85) y etanol celulósico (E85). Para ubicar las fuentes eléctricas y los combustibles líquidos en condiciones de igualdad, examinamos sus capacidades comparativas para hacer frente a los problemas mencionados, como fuentes de energía en vehículos de nueva tecnología, que incluyó los vehículos de batería eléctrica (BEVs), vehículos de pila de combustible de hidrógeno (HFCVs) y vehículos con combustible E85. Se consideran doce combinaciones de vehículos por tipo de fuente de energía. Tras la clasificación y ponderación de cada combinación con respecto a cada una de las 11 categorías de impacto, resultaron cuatro claras divisiones de rango, o niveles. Nivel 1 (el más alto del ranking) incluye vehículos “BEVs eólicos” y “HFCVs eólicos”. El Nivel 2 incluye vehículos “CSP-BEV”, “BEV

geotérmicos”, “PV-BEV”, “BEVs-mareomotriz” y “BEVs-undimotriz”. El Nivel 3 incluye vehículos “hidro-BEV”, “BEVs nucleares” y “CCS-BEV”. El Nivel 4 incluye los propulsados por combustibles de maíz y celulósico-E85. **Los “BEVs eólicos” ocuparon el primer lugar en siete de las 11 categorías, entre ellas las dos más importantes: reducción de la mortalidad y reducción del cambio climático.** Aunque los vehículos HFCVs son mucho menos eficientes que los BEV, los vehículos “HFCVs eólicos” son todavía muy limpios y se clasificaron en segundo lugar entre todas las combinaciones. En el Nivel 2, las opciones proporcionan beneficios significativos y se recomiendan. Para el Nivel 3, las opciones son menos deseables. Sin embargo, la energía hidroeléctrica, que se clasificó por encima de carbón-CCS y de la energía nuclear, con respecto al clima y la salud, es un equilibrador de carga excelente, por lo tanto, se recomienda. Las combinaciones en el Nivel 4 (etanol celulósico-E85 y etanol de maíz-E85) se clasificaron más bajo en general y con respecto al clima, la contaminación del aire, el uso del suelo, los daños hacia la vida silvestre, y residuos químicos. La propulsión con etanol celulósico-E85 se clasificó más bajo que el etanol de maíz-E85; principalmente debido a la información más reciente sobre su huella ecológica potencialmente mayor, y por sus altas emisiones de contaminación del aire, que superan al etanol de maíz-E85. Mientras el etanol celulósico-E85 puede causar la mayor mortalidad humana en promedio, los vehículos “BEVs nucleares” se ubican en el límite superior del riesgo de mortalidad, debido a la expansión de la separación de plutonio y el enriquecimiento de uranio en las instalaciones de energía nuclear en todo el mundo. Los vehículos “BEVs eólicos” y “CSP-BEVs” causan la menor mortalidad. El área de la huella ecológica de “BEVs eólicos” es de 2-6 veces menor que la de cualquier otra opción. Debido a su menor huella ecológica y baja contaminación, los vehículos “BEVs eólicos” producen la menor pérdida de vida silvestre. El mayor consumidor de agua es el etanol de maíz-E85. Los más bajos son “BEVs eólicos”, “BEVs mareomotriz”, y los “BEVs undimotriz”. En teoría, EE.UU. podría reemplazar todos los vehículos 2007 en circulación con BEVs impulsados por turbinas eólicas de 73000-144000 5 MW, que son menos de los 300,000

aviones producidos durante la Segunda Guerra Mundial, reduciendo el CO2 de los Estados Unidos de 32.5 a 32.7% y casi eliminar las muertes 15,000 anuales relacionadas con la contaminación del aire hacia 2020. En suma, el uso del viento, CSP, geotérmica, mareomotriz, PV, undimotriz, y la hidráulica para suministrar electricidad a los BEV y HFCVs y, por extensión, la electricidad para los sectores residencial, industrial y comercial, resultará en el mayor beneficio entre las opciones consideradas. La combinación de estas tecnologías debería avanzar como una solución ante el calentamiento global, la contaminación del aire y la seguridad energética. El uso de carbón-CCS y energía nuclear ofrecen menos beneficios, por lo tanto, representan una pérdida de inversión, y las opciones de biocombustibles proporcionan beneficios inciertos y los mayores impactos negativos.”

Artículo en línea, disponible completo en:
<https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/ReviewSolGW09.pdf>