

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA



SECRETARÍA DE ENERGÍA

Pedro Joaquín Coldwell

Secretario de Energía

Leonardo Beltrán Rodríguez

Subsecretario de Planeación y Transición Energética

Fernando Zendejas Reyes

Subsecretario de Electricidad

Aldo Flores Quiroga

Subsecretario de Hidrocarburos

Gloria Brasdefer Hernández

Oficial Mayor

Carlos Roberto Ortiz Gómez

Director General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Formación de Recursos Humanos

Edgar Santoyo Castelazo

Director de Innovación Tecnológica

REVISIÓN Y APROBACIÓN

SECRETARÍA DE ENERGÍA

Carlos Roberto Ortiz Gómez

Director General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Formación de Recursos Humanos

Efraín Villanueva Arcos

Director General de Energías Limpias

Edmundo Gil Borja

Director General de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica y Vinculación Social

Edgar Santoyo Castelazo

Director de Innovación Tecnológica

Jessica Susana Rodríguez Aguilar

Directora de Energías Renovables

CENTRO MEXICANO DE INNOVACIÓN EN ENERGÍA EÓLICA (CEMIE
EÓLICO)

José Manuel Franco Nava

Responsable Técnico del CEMIE Eólico

ELABORACIÓN

EN COLABORACIÓN CON EL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

Ernesto Ríos Patrón

Director General

Rafael Ramos Palmeros

Director de Desarrollo de Talento

Raúl Cruz Marqués

Gerente de Gestión del Conocimiento

María Georgina Ortiz Gallardo

Líder de proyecto

César Andrés de la Fuente Melo

Especialista

Víctor Gerardo Ortiz Gallardo

Líder de la Unidad de Inteligencia Tecnológica Competitiva

Agustín González Ortiz

Consultor externo

ÍNDICE

Agradecimientos	11
Introducción	12
Metodología general para la integración del mapa de ruta	14
Generalidades de la energía eólica en tierra	18
Visión de la energía eólica en tierra al 2030	36
Implementación de la visión	39
I. Acciones estratégicas: Retos	40
II. Acciones habilitadoras: Barreras	45
IIa. Ámbito Regulatorio	46
IIb. Ámbito Económico	49
IIc. Recursos Humanos	51
IId. Ámbito Social	53
III. Acciones de soporte	57
IIIa. Incorporar mejoras en la planeación de la red nacional de transmisión y de la red general de distribución	57
IIIb. Desarrollar sistemas de almacenamiento de energía eficientes y de bajo costo	59
Desarrollo de otras alternativas de la energía eólica	61
Diagramación	64
Conclusiones y siguientes acciones	65
Referencias bibliográficas	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas generales para la integración del mapa de ruta de energía eólica en tierra.	14
Figura 2. Cadena de valor de un proyecto eólico.	21
Figura 3. Generación de electricidad global por fuente 2015.	22
Figura 4. Inversión global en energías renovables por tecnologías 2015.	22
Figura 5. Crecimiento en dimensión de las turbinas de viento a partir de 1980 y prospectos.	24
Figura 6. Velocidad del viento en México.	25
Figura 7. Potencial del recurso eólico.	25
Figura 8. Capacidad instalada por tipo de tecnología 2016.	26
Figura 9. Centrales de capacidad y generación eólica al 2016.	27
Figura 10. Capacidad adicional en centrales eólicas 2017-2031.	27
Figura 11. Crecimiento anual de energía eólica en México.	28
Figura 13. Capacidad adicional por situación de proyectos (MW).	29
Figura 14. Capacidad adicional por modalidad para tecnología eólica (MW).	29
Figura 15. Capacidad adicional en centrales eólicas 2017-2031.	29
Figura 16. Empresas mexicanas con participación en el sector eólico	31
Figura 17. Visión para el aprovechamiento de la energía eólica en tierra al 2030.	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad instalada (MW) de los 15 países con mayor generación de electricidad a partir de energía eólica.	23
Tabla 2. Generación Eléctrica 2016 en México (Gigawatt-hora).	26
Tabla 3. Retos tecnológicos prioritarios para alcanzar la visión al 2030.	40

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Palas de aerogeneradores fabricadas con polímeros biodegradables	18
Imagen 2. Góndola de un aerogenerador de 1.2 MW	18
Imagen 3. Torres de turbinas eólicas	19
Imagen 4. Central eólica - Oaxaca	19
Imagen 5. Turbina eólica pequeña	20
Imagen 6. Interior de aerogenerador de 30 KW	20
Imagen 7. CERTE (Centro Regional de Tecnología Eólica) en La Ventosa, Oaxaca	33
Imagen 8. Laboratorio de palas eólicas	35
Imagen 9. Parque Eólico - Puebla	38
Imagen 10. Servicio de mantenimiento a aerogeneradores	43
Imagen 11. Centro de capacitación UNISTMO	52
Imagen 12. Ecosistemas y los parques eólicos en Oaxaca	54
Imagen 13. Comunidades en Oaxaca, México	56
Imagen 14. Área de control oriental CENACE	58
Imagen 15. Construcción de un parque eólico en Sonora. Agosto de 2013	60
Imagen 16. Parque eólico marino en aguas británicas	63

Abreviaturas y acrónimos

AEM	<i>Atlas Eólico de México</i>
AMDEE	<i>Asociación Mexicana de Energía Eólica</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute (Instituto Nacional Americano de Estándares)</i>
AZEL	<i>Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias</i>
CDI	<i>Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas</i>
CEL	<i>Certificado de Energía Limpia</i>
CEMIE	<i>Centro Mexicano de Innovación en Energía</i>
CEMIE-Eólico	<i>Centro Mexicano de Innovación en Energía Eólica</i>
CENACE	<i>Centro Nacional del Control de Energía</i>
CFE	<i>Comisión Federal de Electricidad</i>
CGCEREE	<i>Comité de Gestión por Competencias de Energía Renovable y Eficiencia Energética</i>
CI	<i>Centro de Investigación</i>
CIATEQ	<i>Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Querétaro</i>
CIDESI	<i>Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial</i>
COFEMER	<i>Comisión Federal de Mejora Regulatoria</i>
CoIDT+i	<i>Comunidad de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación</i>
CONACYT	<i>Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología</i>
CONOCER	<i>Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales</i>
COP21	<i>Conferencia sobre el Cambio Climático de París 2015</i>
CRE	<i>Comisión Reguladora de Energía</i>
DTU	<i>Technical University of Denmark (Universidad Técnica de Dinamarca)</i>

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

ERNC	<i>Energías Renovables No Convencionales</i>
EVIS	<i>Evaluación de Impacto Social</i>
EWEA	<i>European Wind Energy Association (Asociación Europea de Energía Eólica)</i>
FSE	<i>Fondo de Sustentabilidad Energética</i>
GEI	<i>Gases Efecto Invernadero</i>
GIZ	<i>Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Agencia de Cooperación Alemana)</i>
GWh	<i>Giga Watts hora</i>
IEA	<i>International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission (Comisión Internacional Electrotécnica)</i>
IMP	<i>Instituto Mexicano del Petróleo</i>
INAFED	<i>Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal</i>
INAH	<i>Instituto Nacional de Antropología e Historia</i>
INECC	<i>Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático</i>
INEEL	<i>Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias</i>
INEL	<i>Inventario Nacional de Energías Limpias</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)</i>
MRT	<i>Mapa de Ruta Tecnológica</i>
MW	<i>Mega Watts</i>
NOM	<i>Norma Oficial Mexicana</i>
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory (Laboratorio Nacional de Energías Renovables)</i>
PAL	<i>Permisos, Autorizaciones y Licencias</i>

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

PIE	<i>Productor Independiente de Energía</i>
PP	<i>Pequeño Productor</i>
PRODESEN	<i>Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional</i>
RGD	<i>Red General de Distribución</i>
RNT	<i>Red Nacional de Transmisión</i>
SE	<i>Secretaría de Economía</i>
SEGOB	<i>Secretaría de Gobernación</i>
SEMARNAT	<i>Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales</i>
SEN	<i>Sistema Eléctrico Nacional</i>
SENER	<i>Secretaría de Energía</i>
SEP	<i>Secretaría de Educación Pública</i>
SPTE	<i>Subsecretaría de Planeación y Transición Energética</i>
SHCP	<i>Secretaría de Hacienda y Crédito Público</i>
SWIP	<i>Small Wind Innovative Project (Proyectos innovadores en energía eólica pequeña y mediana escala)</i>
SWT	<i>Small Wind Turbines (Turbinas eólicas pequeñas)</i>
UNAM	<i>Universidad Nacional Autónoma de México</i>

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Agradecimientos

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

Mtra. Jessica Susana Rodríguez Aguilar
Ing. Sergio Cortés López
Lic. Agustín Lara Fernández
Ing. Manuel Alberto Castellanos Cueto
Mtro. Roberto B. Rangel Salas
Ing. Lidia Mora Vásquez
Mtra. Dulce E. González Martínez
Dr. José Manuel Franco Nava
Ing. Jaime Agredano Díaz
M. C. Juan José Rivera Grijalva
Dr. Isaac Hernández Arriaga
Dr. Guillermo Muñoz Hernández
Ing. Rafael Correa
M. en C. Brenda Ocampo
Ing. Alejandro Segura Teruel
Lic. Miguel Fernando Barraza Mayagoitia
Ing. Héctor J. Treviño González
Fis. David Cervantes Romero
Ing. Christian Anaya Velázquez
Ing. Carlos Daniel Ortiz López
Biol. Andrés Hernández García
Ing. Blanca Ivonne Gómez Ortega
Lic. Iris Maya Villarreal
Ing. Bárbara Hernández Rivero
Ing. Alejandro Saúl Alarcón Vizarro
Ing. José Ramón Iglesias Rodríguez
Ing. José Allan Hellmer Cariño
Ing. Javier Bocanegra Reyes

Finalmente, hacemos un reconocimiento especial al Dr. Ignacio Martí Pérez, quien es Presidente del Comité Ejecutivo del Grupo de Eólica de la Agencia Internacional de Energía (IAE, por sus siglas en inglés), por proporcionar una visión de la

Agradecemos al Fondo y a la Secretaría de Energía por su liderazgo coordinación y por todo el apoyo brindado para la realización de esta iniciativa sin precedente en el país.

Asimismo, damos las gracias a los siguientes especialistas que participaron de manera activa y entusiasta durante los talleres y el proceso de retroalimentación de este documento.

Secretaría de Energía (SENER)
Secretaría de Economía (SE)
Secretaría de Economía (SE)
CEMIE-Eólico, INEEL
CEMIE-Eólico, INEEL
CEMIE-Eólico, INEEL
CEMIE-Eólico, CIATEQ
CEMIE-Eólico, CIDESI
CEMIE-Eólico, Postensa Wind Structures
Acciona México S.A.
Acciona México S.A.
Acciona México S.A.
Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE)
AVAN-C Consultores
Comisión Federal de Electricidad (CFE)
Comisión Federal de Electricidad (CFE)
Comisión Federal de Electricidad (CFE)
Comisión Reguladora de Energía (CRE)
Enel Green Power México
Gamesa Energía S.A. de C.V.
Iberdrola México, S.A.
Iberdrola México, S.A.
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

experiencia internacional sobre el desarrollo de la energía eólica y por sus valiosas aportaciones durante las discusiones que se realizaron en los talleres.

Introducción

México se posiciona a nivel mundial como uno de los países mejor situados para aprovechar la fuerza del viento en la generación de electricidad. Por su parte, la energía eólica tiene ventajas considerables respecto a otras fuentes de energía al emplearse para producir electricidad, por ejemplo la nula emisión de dióxido de carbono al ambiente.

En la actualidad México está dando un fuerte impulso al desarrollo de las energías renovables, esto con la finalidad de diversificar la matriz energética y reducir, de esta manera, la fuerte dependencia que existe de los combustibles fósiles.

Muestra de ello es la promulgación de la Ley de Transición Energética (DOF, 2015) que impulsa el incremento gradual de la participación de energías limpias en la industria eléctrica y la reducción de emisiones. Esta misma Ley, establece que para el año 2024 el 35% de la generación eléctrica deberá provenir de energías limpias.

Por otra parte, en el ámbito internacional, México asumió compromisos en la Conferencia sobre el Cambio Climático de París 2015 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015), de reducir en un 22% las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) y en un 51% las emisiones de carbono negro hacia el 2030.

Entre las acciones que se realizan para cumplir con los compromisos asumidos, el Gobierno Federal creó el Fondo Sectorial CONACYT-SENER-Sustentabilidad Energética (FSE), que se enfoca en cuatro líneas principales: eficiencia energética, fuentes renovables, uso de tecnologías limpias y diversificación de fuentes primarias de energía. Este Fondo impulsa la creación de capacidades tecnológicas en la academia, la industria y las instituciones públicas, así como la investigación aplicada, el desarrollo tecnológico, la innovación y el despliegue de productos y servicios en el sector energía.

Por su parte, la Estrategia Nacional de Energía 2014-2028 (SENER, 2014), precisa que se deberá trabajar en desarrollar proyectos que generen valor agregado para la industria energética mexicana, fortalecer a los institutos de

investigación y de educación del sector energético, fomentar el desarrollo de recursos humanos capacitados y especializados y propiciar la creación de redes nacionales e internacionales con las instituciones y centros de investigación, entre otros.

Con base en lo anterior, la Secretaría de Energía (SENER) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologías (CONACYT), han decidido generar iniciativas a través del Fondo de Sustentabilidad Energética, tales como la conformación de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIEs). Estos centros tienen el objetivo de abatir las barreras y retos, tanto científicos como tecnológicos, que enfrenta el país, para el aprovechamiento sustentable de las energías limpias.

Los CEMIEs son consorcios en los que participan instituciones de educación superior (IES), centros de investigación (CI) y empresas. En 2014 iniciaron operaciones tres Centros (CEMIE Geo, CEMIE Eólico y CEMIE Solar) y en 2016 se integraron dos más, el CEMIE Océano y otro denominado CEMIE-Bio, este último integrado por cinco clústers.

La Secretaría de Energía, a través del FSE, patrocinó la elaboración de mapas de ruta tecnológicos al 2030 para distintas energías, entre estos el correspondiente a energía eólica en tierra. Lo anterior, como parte de las iniciativas que se realizan para fortalecer la operación de los CEMIEs. Adicionalmente, con el mapa de ruta, el FSE contará con instrumentos de planeación para direccionar recursos hacia proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, cuyos resultados sean de mayor impacto en la industria eólica de nuestro país.

El mapa de ruta tecnológica que se presenta en este documento se enfoca en la generación de electricidad a través de la energía eólica en tierra. Sin embargo, se tratan de manera exploratoria dos temas que se consideran relevantes para el aprovechamiento de los recursos eólicos de nuestro país, estos temas son: generación distribuida y energía eólica marina.

Propósito del mapa de ruta

El propósito de este mapa de ruta tecnológica es identificar los retos tecnológicos y las barreras que enfrenta el país para el aprovechamiento sustentable de la energía eólica en tierra al 2030. En particular, se busca que el mapa de ruta sea un insumo de información que sirva de base para orientar la definición de proyectos e iniciativas enfocadas en fortalecer las capacidades tecnológicas necesarias para dar soporte al crecimiento sustentable de la industria eólica de México, incluyendo infraestructura, recursos humanos especializados y servicios tecnológicos, entre otros.

En este mapa de ruta, se propone una visión al 2030 en la que se considera factible tener una capacidad instalada de 21 GW para generar electricidad. Esta visión se estableció a partir de una serie de talleres realizados en el mes de junio de 2017, en dichos talleres participaron especialistas en diversos temas de energía eólica provenientes de la comunidad de investigación y desarrollo tecnológico, así como el gobierno y la industria.

Para orientar la generación de la visión de este mapa de ruta, se consultaron varios documentos oficiales publicados por la Secretaría de Energía, entre los que se encuentran las Prospectivas de Energías Renovables y del Sector Eléctrico; el Inventario Nacional de Energías Renovables y el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional.

Adicionalmente, se revisaron documentos de carácter técnico para establecer un panorama general de los avances en las tecnologías clave para el aprovechamiento de los recursos eólicos en tierra.

El mapa de ruta presenta una serie de acciones estratégicas y habilitadoras que se consideran prioritarias para favorecer la incorporación oportuna de las capacidades tecnológicas necesarias para alcanzar la capacidad instalada establecida en la visión al 2030; incluyendo también un conjunto de actividades específicas propuestas para solventarlas, actores involucrados y plazos estimados para su ejecución. Es importante señalar que las acciones, actividades, actores y plazos propuestos no representan un programa de trabajo, sino una perspectiva global de las implicaciones y

requerimientos para impulsar el aprovechamiento de los recursos eólicos en tierra de México.

Adicionalmente, es preciso mencionar que los resultados que se presentan en este documento, corresponden a las condiciones técnicas, políticas, económicas, legales y sociales, prevalecientes en el contexto nacional al momento en que se desarrollaron los talleres. Por lo anterior, la vigencia, prioridad, actores y/o plazos indicados podrían modificarse en la medida en la que existan cambios significativos en el entorno en alguno de los ámbitos señalados.

Estructura y contenido del reporte

Este documento está conformado por siete capítulos. En el primero de ellos se describe la metodología empleada para la generación de este mapa de ruta tecnológica; posteriormente, se presenta un panorama general de la industria eólica a nivel nacional e internacional. En los siguientes tres capítulos se describen los resultados del mapa de ruta, incluyendo la visión al 2030, acciones estratégicas propuestas para implementarla y las acciones habilitadoras que se consideran prioritarias para fortalecer la industria eólica. Finalmente, los dos capítulos subsecuentes, se enfocan por una parte, en describir la estructura y contenido del diagrama del mapa de ruta, y por otra, en las conclusiones y siguientes acciones.

Metodología general para la integración del mapa de ruta

El Mapa de Ruta Tecnológica (MRT) es una herramienta de soporte en los procesos de planeación estratégica. Mediante esta herramienta se busca comunicar las acciones clave a desarrollar por los diferentes actores dentro de una organización para incorporar oportunamente las capacidades tecnológicas necesarias para lograr sus objetivos en el largo plazo. Diversas organizaciones del mundo utilizan los mapas de ruta como parte de sus procesos de planeación para orientar la definición de sus programas de desarrollo tecnológico y proyectos de generación de nuevos productos.

Los mapas de ruta contribuyen con los procesos de planeación estratégica en dos sentidos. Por una parte, se genera una visión compartida entre los diferentes actores dentro de la organización que están involucrados en el cumplimiento de un objetivo particular. Por otra parte, se obtiene una representación gráfica que permite comunicar a todos los actores, la serie de acciones que se deben llevar a cabo en el corto, mediano y largo plazo para alcanzar dicho objetivo. En el caso particular de los mapas de ruta tecnológicos, las acciones se focalizan primordialmente en favorecer la adquisición y fortalecimiento de las capacidades tecnológicas necesarias para lograr un objetivo.

Existen diferentes metodologías para construir mapas de ruta tecnológica, que varían en la forma de cómo se define el estado y las tendencias de la industria, la identificación de los actores clave y en los métodos empleados para alcanzar consensos en la visión, enfoque, retos y barreras; asimismo, pueden variar en su estructura. La construcción de mapas de ruta se puede realizar a partir de alguno de los siguientes métodos (Australian Government - Department of Industry, Tourism and Resources, 2001):

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

En el caso del mapa de ruta tecnológica de energía eólica en tierra, su construcción siguió el método de talleres basados en discusiones dirigidas. La realización del mapa bajo este método, implicó toda una serie de actividades que van desde el análisis de la situación actual del aprovechamiento de esta energía en el país, hasta la generación del reporte que describe con mayor nivel de detalle las acciones clave para alcanzar la visión establecida al 2030.

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

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

1. Generación del marco de referencia.
2. Diseño y planeación de talleres.
3. Realización de talleres.
4. Construcción del mapa.

Figura 1. Etapas generales para la integración del mapa de ruta de energía eólica en tierra.



1. Generación del marco de referencia.

La primera etapa involucró la obtención de la información que sirvió de referencia para diseñar el mapa. En esta etapa se realizó una caracterización general de la estructura de la industria, de las tecnologías clave para el aprovechamiento de la energía eólica en tierra y del progreso científico y tecnológico alcanzado en los ámbitos nacional e internacional, en relación a la solución de retos técnicos existentes para el aprovechamiento de los recursos eólicos. Como resultado, se generaron dos reportes que fueron el insumo fundamental para la definición del enfoque y estructura del mapa de ruta. El primero corresponde al Reporte de Inteligencia Tecnológica en Energía Eólica (SENER-IMP, 2017a) en el que se documentaron los retos técnicos y el estado de desarrollo de algunas de las tecnologías relevantes en el aprovechamiento de este tipo de recursos; el segundo, correspondió al Diagnóstico de la Gestión de la Innovación del CEMIE Eólico (SENER-IMP, 2017b), el cual se realizó con el fin de conocer las líneas de investigación y desarrollo tecnológico en las que se enfoca el CEMIE, así como los productos y tecnologías que espera generar y las acciones que realiza para transferir sus resultados a la industria.

2. Diseño y planeación de talleres

En la segunda etapa, se definió el enfoque particular del mapa de ruta tecnológica, así como los participantes y la estructura de los talleres. A lo largo de esta etapa se realizaron entrevistas con diversos especialistas del sector a fin de tener una mejor comprensión de la estructura de la industria y mayores elementos para diseñar los talleres.

El enfoque y estructura del mapa se estableció a partir del nivel del desarrollo de la industria en México y de la madurez de las tecnologías clave. En esta etapa se identificaron, seleccionaron e invitaron a expertos e instituciones a participar en los talleres. Los asistentes fueron seleccionados por su experiencia y conocimiento en los diferentes temas de la energía eólica y de los problemas que existen en nuestro país para el aprovechamiento de los recursos eólicos.

3. Realización de talleres.

Los talleres se efectuaron durante el mes de junio de 2017 en las instalaciones del Instituto Mexicano del Petróleo en la Ciudad de México. En los talleres se contó con la participación de alrededor de treinta especialistas, representantes de la Comunidad de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación¹, industria y órganos reguladores. Las instituciones representadas en los talleres se indican a continuación:

- Secretaría de Energía
- Secretaría de Economía
- Comisión Reguladora de Energía
- Comisión Federal de Electricidad
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
- CEMIE-Eólico
 - INEEL
 - CIATEQ
 - CIDESI
 - Postensa Wind Structures
- AMDEE
- Acciona México, S.A.
- Avan-C Consultores
- Enel Green Power México
- Gamesa Energía S.A. de C.V.
- Iberdrola México, S.A.
- Agencia Internacional de Energía

¹ La Comunidad de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación, está integrada por las Instituciones de Educación Superior y los Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico tanto Públicos como Privados, incluyendo al CEMIE- Eólico.

Durante los talleres, los participantes compartieron sus perspectivas actuales y futuras del desarrollo de la industria eólica en nuestro país; opiniones sobre la capacidad instalada factible de alcanzar, los principales retos técnicos y las barreras que limitan el crecimiento del sector y la adopción de nuevas tecnologías. Además establecieron una serie de acciones prioritarias sugeridas para la atención de los retos y barreras identificadas.

4. Construcción del mapa.

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

Por otra parte, una vez finalizado el reporte del mapa de ruta, se realizó un análisis del mismo para especificar las necesidades tecnológicas derivadas de las problemáticas asociadas a los retos y acciones sugeridas. En general, las necesidades tecnológicas se refieren a carencias o deficiencias de capacidades tecnológicas específicas o de alguno de sus componentes, es decir; conocimiento, infraestructura, procesos o metodologías de trabajo y herramientas. Las necesidades identificadas se documentaron en un reporte titulado Cartera de Necesidades de Innovación y Desarrollo Tecnológico. El objetivo de este documento es ofrecer información que sirva como base para generar iniciativas de proyectos específicos (SENER-IMP, 2017c) que estén alineados a los resultados del mapa de ruta.

Fuentes de información consultadas

Las fuentes de información empleadas incluyeron documentos oficiales publicados por SENER, publicaciones técnicas y científicas, entrevistas con expertos técnicos y representantes de la industria y el gobierno; así como información recopilada directamente de los especialistas que participaron en los talleres. Dentro de los

principales documentos oficiales que se tomaron de base para establecer la visión al 2030 se encuentran: la Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030; el Inventario Nacional de Energías Renovables (2017), el Reporte de Avance de Energías Limpias 2016 y el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (2017 – 2031).

Actores involucrados en la elaboración del mapa de ruta

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

Alcances y limitaciones

El mapa de ruta tecnológica presenta una serie de acciones estratégicas y habilitadoras que se consideran prioritarias para fortalecer el desarrollo de las capacidades tecnológicas necesarias para alcanzar la visión al 2030 para el aprovechamiento de los recursos eólicos en tierra; asimismo, se establecen un conjunto de actividades específicas propuestas, actores y plazos estimados para su realización. Es importante mencionar que estas acciones, actividades, actores y plazos, son una propuesta y no representan un programa de trabajo, sino una perspectiva global de las implicaciones y requerimientos para impulsar el aprovechamiento de los recursos eólicos con los que cuenta nuestro país. En los talleres, surgieron un amplio número de retos tecnológicos y barreras, sin embargo, sólo se analizaron con detalle aquellos que los especialistas consideraron de mayor relevancia para alcanzar la visión establecida al 2030 y por lo tanto, son los que se discuten en este reporte.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Adicionalmente, el mapa de ruta resultante fue influenciado por las condiciones técnicas, políticas, económicas, legales y sociales prevalecientes en el contexto nacional al momento en que se desarrollaron los talleres. Sin embargo, debido al dinamismo de cada industria, algunos aspectos contextuales podrían cambiar y modificar la velocidad de crecimiento del sector y/o asimilación de nuevas tecnologías, y en consecuencia, alterar la prioridad de las acciones sugeridas, o bien, indicar la necesidad de considerar nuevas líneas de acción. Por lo anterior, la vigencia, prioridad, actores y/o plazos indicados podrían modificarse en la medida en la que

existan cambios en el entorno en alguno de los ámbitos señalados.

Finalmente, la participación de los distintos actores que se establecen en las acciones sugeridas que se presentan en este mapa, es de carácter indicativo, su finalidad es orientar la definición de políticas públicas, programas e iniciativas, enfocadas en fortalecer, incrementar y/o generar las capacidades tecnológicas necesarias para dar soporte al desarrollo sustentable de la industria en el mediano y largo plazo, incluyendo infraestructura, recursos humanos especializados, y servicios tecnológicos, entre otros.

Generalidades de la energía eólica

La energía eólica utiliza la fuerza del viento, es una energía libre, limpia e inagotable que se ha aprovechado en el transporte, la industria y la agricultura durante siglos. La producción de electricidad, a partir del viento, no genera emisiones y es competitiva con respecto a la que se produce con combustibles fósiles.

El aprovechamiento de la energía eólica en la generación de electricidad, se ha expandido a partir del desarrollo de aerogeneradores modernos o turbinas eólicas. Un aerogenerador es un dispositivo de alta tecnología que convierte la energía cinética del aire en movimiento y por lo tanto en electricidad. Existen dos tipos de aerogeneradores: de eje horizontal y vertical, pero los más empleados y eficientes son los tri-palas de eje horizontal que además, tienen otras ventajas por su costo, facilidad de instalación y mantenimiento. Un aerogenerador está integrado por múltiples componentes y entre los principales se encuentran las palas, el rotor, la góndola, el transformador y la torre.

Por lo general, las palas se fabrican con fibra de vidrio y una resina de poliéster o carbono para darles mayor resistencia y pueden llegar a medir hasta 100 m de longitud, son aerodinámicas y firmes; comienzan a moverse cuando el viento logra una velocidad de 3 a 5 metros por segundo (m/s) y alcanzan su máxima potencia con velocidades de 13 a 14 m/s. Con vientos muy fuertes (25 m/s aproximadamente), las palas se detienen para evitar grandes tensiones.

IMAGEN 1. PALAS DE AEROGENERADORES FABRICADAS CON POLÍMEROS BIODEGRADABLES



Fuente: <https://ecologismos.com>

El rotor es el eje al que van unidas las palas, a través de una pieza llamada buje. La fuerza del viento que es captada por las palas se transmite al buje, el cual, se encuentra conectado a la multiplicadora que está dentro de la góndola. En esta también se encuentran la caja de cambios, el generador eléctrico, los sistemas de control, orientación y freno. El rotor transmite el giro al generador que produce la electricidad y esta, a su vez, pasa al transformador y posteriormente a una subestación, en donde eleva su tensión para que pueda enviarse a la red eléctrica.

IMAGEN 2. GÓNDOLA DE UN AEROGENERADOR DE 1.2 MW



Fuente: CEMIE-Eólico

La torre es la estructura de soporte sobre la que se colocan los aerogeneradores, se fabrica con acero u hormigón armado, o con una mezcla de ambos materiales, es hueca por dentro para permitir el acceso a la góndola. La estructura de soporte ayuda a mejorar el desempeño de la turbina eólica, puesto que eleva el aerogenerador lo suficiente para que pueda acceder a mayores velocidades de viento y menores turbulencias.

La estructura de soporte que incluye la torre, cimentación, transportación, materiales y otras consideraciones para su instalación, tiene un costo significativo, de hecho, la construcción de una torre que soportará una turbina eólica pequeña puede representar el 50% de los costos totales de la instalación (Jenkins, Rhoads, Summerville, Baranowski, & Rife, 2016).

La electricidad a partir de la energía eólica se puede generar en centrales o parques eólicos, o bien, a nivel local mediante pequeños generadores, lo que se conoce como generación distribuida.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA

ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

IMAGEN 3. TORRES DE TURBINAS EÓLICAS



Fuente: <http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/tour/wtrb/tower.htm>

Centrales eólicas

Una central o parque eólico está compuesto por un conjunto de aerogeneradores que producen electricidad. Éstos se sitúan juntos con el objetivo de aprovechar, de mejor forma, la energía del viento, abatir costos de instalación y de evacuación de la energía. Éstas centrales pueden instalarse en mar (eólica marina) o en tierra.

Para que las centrales eólicas puedan construirse, requieren de estudios previos del impacto que tendrán en la construcción y la operación del parque sobre la flora y la fauna del lugar, entre otros aspectos. En algunos casos, se considera que los parques eólicos pueden tener impactos negativos, ya que los aerogeneradores son visibles y podrían afectar el paisaje, o bien, generar contaminación acústica debido a la rotación de las palas; por el contrario, se identifican ventajas en el uso de los terrenos que se emplean para las centrales eólicas, ya que son compatibles con otras actividades productivas.

Actualmente, predominan en los parques eólicos de todo el mundo, los aerogeneradores de eje horizontal; investigaciones recientes han demostrado que los de eje vertical son más económicos y eficientes en cuanto al uso de la tierra, pero es muy difícil encontrarlos instalados. Los aerogeneradores de 1.5 MW a 2.5 MW, todavía constituyen el mayor segmento de mercado (IEA, 2013).

IMAGEN 4. CENTRAL EÓLICA - OAXACA



FUENTE: CEMIE-Eólico

Generación distribuida

Otra de las aplicaciones de la energía eólica, está enfocada en la generación a pequeña escala de manera distribuida, lo cual representa ventajas sobre todo para lugares aislados que demandan de electricidad. En este sentido, la generación distribuida tiene la ventaja de presentar menores costos de transporte de energía, debido a que generalmente, su producción se encuentra más cerca de los puntos de consumo.

De acuerdo con las experiencias obtenidas a través del proyecto SWIP de la Comisión Europea (Small Wind Innovative Project, 2017), el futuro de la generación eólica distribuida dependerá principalmente del costo de la tecnología, de la evolución de los precios de los combustibles fósiles y del interés de los inversionistas. Actualmente, el costo de las pequeñas turbinas eólicas (SWT, por sus siglas en inglés) sigue siendo el factor más influyente para el despliegue de esta tecnología.

Por otra parte, la complejidad de la evaluación de los recursos eólicos representa un importante inconveniente para el despliegue de las pequeñas turbinas eólicas (menos de 100kW). La predicción exacta de la velocidad del viento es esencial para calcular la producción de electricidad, por lo que actualmente la evaluación del recurso eólico presenta desafíos importantes debido al costo de las herramientas que se emplean en la medición del viento en entornos urbanos. Otra problemática que se presenta en zonas urbanas, es que para alturas menores a los

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

30 metros, el efecto de sombreado y turbulencia de los obstáculos circundantes produce inconsistencia e imprevisibilidad en los patrones de viento. Aunado a esto, también se requiere seguir trabajando en disminuir el ruido generado por las cajas de cambio y partes de transmisión de energía eléctrica, lo cual plantea un problema ambiental con la comunidad. La vibración es otro factor por abordar debido al impacto que puede tener dependiendo de la ubicación donde se instala el dispositivo (Small Wind Innovative Project, 2017).

Como puede observarse, la implementación de aerogeneradores de pequeña y mediana escala, deberá considerar la percepción social a nivel urbano y garantizar las cuestiones de salud y seguridad en torno a la tecnología y la calidad de vida.

De acuerdo con la experiencia europea, otro aspecto a considerar para el despliegue de turbinas eólicas pequeñas, son las regulaciones e incentivos del gobierno para desarrollar este

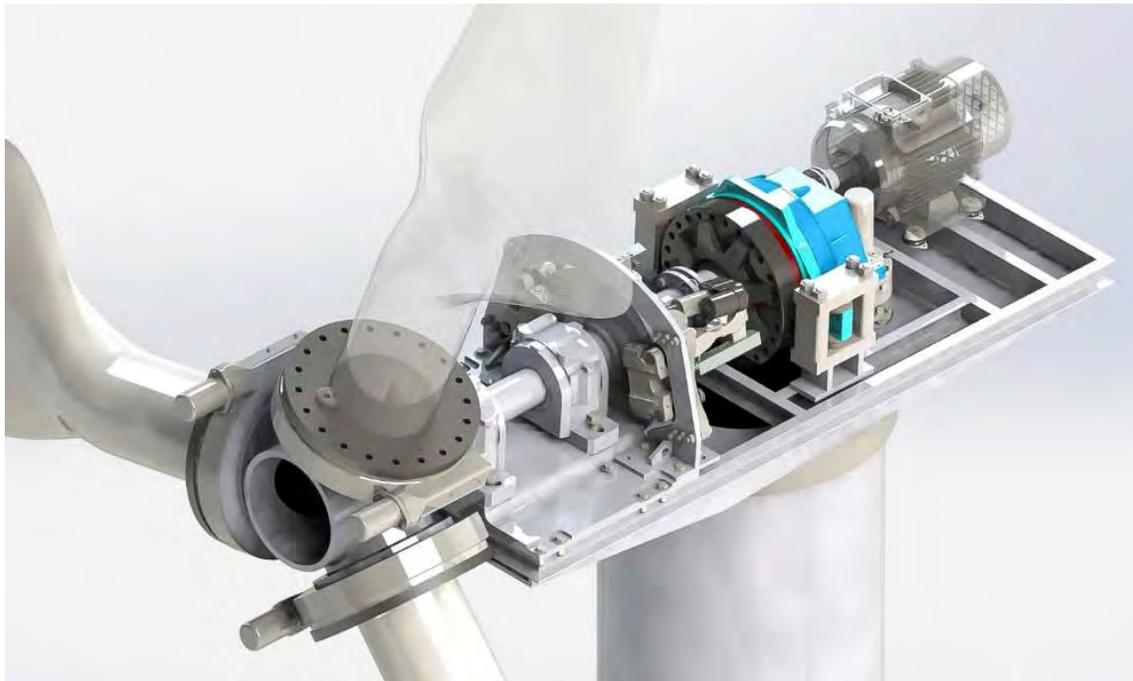
sector en áreas urbanas y periféricas (Small Wind Innovative Project, 2017).

IMAGEN 5. TURBINA EÓLICA PEQUEÑA



Fuente: <https://absenergydivision.wordpress.com/2015/10/13/small-wind-turbine-technology/>

IMAGEN 6. INTERIOR DE AEROGENERADOR DE 30 KW



Fuente: CEMIE-Eólico

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

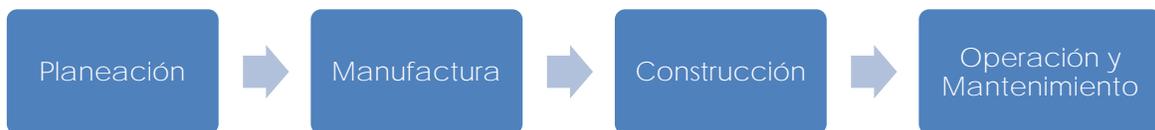
Etapas de un proyecto eólico

De manera general, se identifican cinco etapas que integran la cadena de valor de un proyecto eólico, estas son: planeación, manufactura, construcción, operación y mantenimiento (Ver figura 2).

La etapa de planeación incluye entre otras actividades, un análisis detallado de los recursos eólicos, la selección de un emplazamiento, la realización de estudios de impacto ambiental y social, la obtención de permisos y aseguramiento de terrenos, así como la obtención de un punto de interconexión. Por lo general, esta etapa la

ejecuta el desarrollador que en muchas ocasiones, es la misma empresa que operará el parque. A continuación se realiza la fabricación del equipo (aerogenerador, palas, torre, entre otras) y la construcción del parque, lo que involucra el desarrollo de ingeniería, de obra civil, ensamblaje, infraestructura eléctrica e inconexión a la red, entre otras actividades. La construcción de un parque eólico es relativamente corta (1 año aproximadamente) y la instalación de los equipo tiene algunas complejidades técnicas y logísticas, entre estas el transporte de los componentes de los aerogeneradores, ya que por sus dimensiones y peso, requieren de equipo especial.

Figura 2. Cadena de valor de un proyecto eólico.



FUENTE: Adaptado de INECC –Boston Strategies (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016)

Cabe mencionar que para la construcción del parque se requieren de recursos financieros importantes, por lo que se recurre normalmente a la financiación bancaria, que implica un análisis de viabilidad económica y técnica muy exhaustivo con la finalidad de minimizar el riesgo.

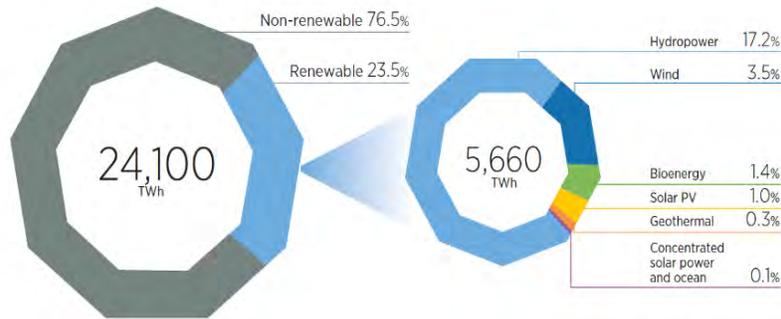
Finalmente, durante la etapa de operación y mantenimiento se llevan a cabo actividades propias de la operación diaria, supervisión, mantenimiento preventivo y correctivo.

Contexto internacional

A finales del 2015, la participación de las energías renovables en la producción de electricidad a nivel mundial, fue del 23% del total generado. Particularmente la energía eólica contribuyó con el 3.5% de este porcentaje, la segunda en importancia por debajo de la hidroeléctrica (Ver figura 3).

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Figura 3. Generación de electricidad global por fuente 2015.

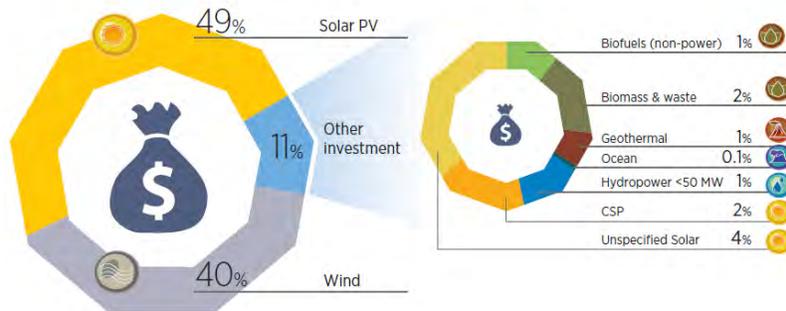


FUENTE: REthinking Energy, (IRENA, 2017).

El crecimiento de la energía eólica, se debe principalmente a los avances tecnológicos, los cuales han impulsado precios competitivos y en algunos países, donde el recurso es abundante, se ha logrado la paridad de red. En la figura 4, se

puede observar que en el año 2015, la inversión para la energía eólica representó el 40% de la inversión a nivel mundial de la energía renovable, solamente superada por la energía solar fotovoltaica.

Figura 4. Inversión global en energías renovables por tecnologías 2015.



FUENTE: REthinking Energy (IRENA, 2017).

Con relación a la tendencia de crecimiento de las energías renovables y particularmente de la energía eólica, algunas agencias como la European Wind Energy Association y la German Aerospace Center (REN 21, 2017), han propuesto escenarios con las diferentes fuentes de energías renovables, considerando la instalación de parques eólicos que suministren el 80% de electricidad, de la demanda total en Europa en el 2050.

De manera similar, en Estados Unidos se han efectuado prospectivas de participación de la energía eólica en el total de consumo eléctrico, específicamente, el National Renewable Energy Laboratory (NREL), espera que para el año 2020 se alcance una participación de la energía eólica del 20% y para el 2030, se tenga una participación del orden del 33% (European Commission, 2014).

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Capacidad instalada a nivel internacional

La tabla 1, muestra el total de capacidad instalada de energía eólica a nivel internacional, la cual se estimó en 456,486 MW a junio 2016, con un incremento del 30% del 2013 hasta el

primer semestre del 2016 (WWEA, 2017). Es importante resaltar que el país que cuenta con mayor capacidad instalada en el mundo es China, que cuenta con 158,000 MW instalados, le siguen Estados Unidos, Alemania, India y España.

TABLA 1. CAPACIDAD INSTALADA (MW) DE LOS 15 PAÍSES CON MAYOR GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE ENERGÍA EÓLICA.

Posición	País/Región	Capacidad Total junio 2016 (MW)	2015 (MW)	2014 (MW)	2013 (MW)
1	China	158,000	148,000	114,763	91,324
2	Estados Unidos	74,696	73,867	65,754	61,108
3	Alemania	47,420	45,192	40,468	34,660
4	India	27,151	24,759	22,465	20,150
5	España	22,987	22,987	22,987	22,959
6	Reino Unido	13,940	13,614	12,440	10,711
7	Canadá	11,298	11,205	9,694	7,698
8	Francia	10,861	10,293	9,296	8,254
9	Brasil	9,810	8,715	5,962	3,466
10	Italia	9,101	8,958	8,663	8,551
11	Suecia	6,338	6,029	5,425	4,470
12	Polonia	5,300	5,100	3,834	3,390
13	Turquía	5,146	4,718	3,763	2,959
14	Dinamarca	5,089	5,064	4,883	4,772
15	Portugal	5,040	5,034	4,953	4,724
	Resto del mundo	44,309	41,409	35,968	29,718
	Total	456,486	434,944	371,317	318,914

FUENTE: Adaptado de World Wind Energy Association 2016, (WWEA, 2017).

Tendencias tecnológicas

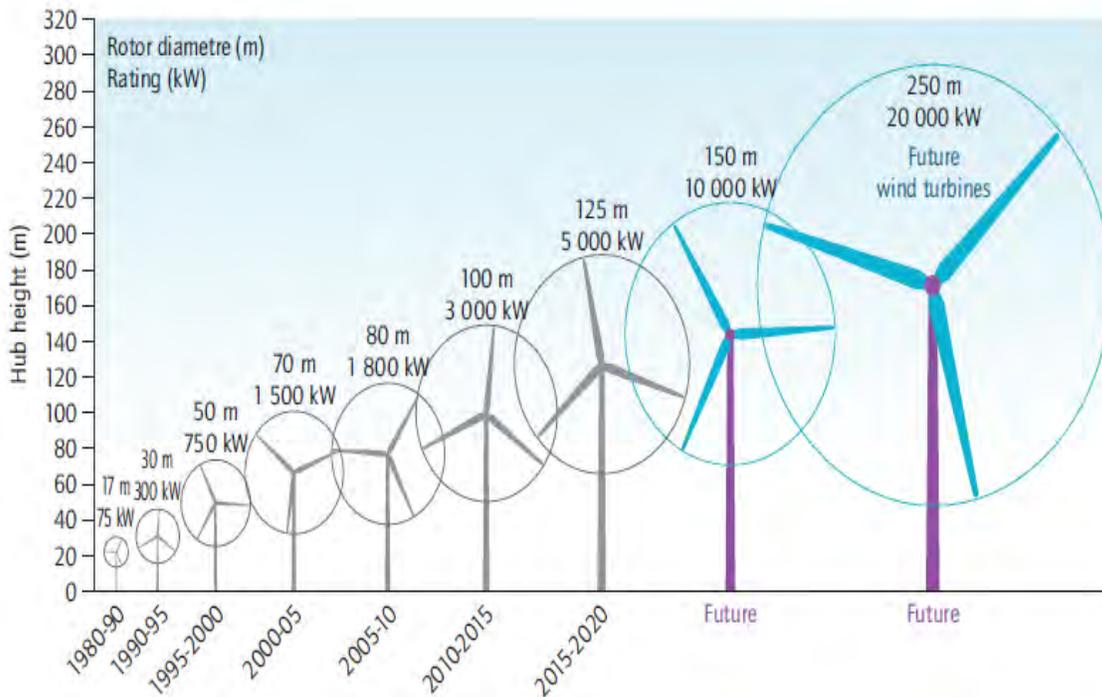
De acuerdo al NREL, la tecnología empleada para el aprovechamiento de la energía eólica en tierra, es madura, aunque todavía tiene margen de mejora. Algunas de estas mejoras estarán enfocadas en los próximos años a reducir los costos de la energía producida y mejorar la rentabilidad de los aerogeneradores, es decir, reducir costos de capital, operación y mantenimiento. Asimismo, se busca maximizar la

producción de energía y la confiabilidad del sistema eólico (European Commission, 2014).

Una tendencia general en el diseño de las turbinas, ha sido incrementar el alto de la torre, la longitud de las palas y la capacidad de potencia. Las turbinas han crecido en altura y diámetro del rotor en mayor medida que las capacidades de potencia (ver figura 5).

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Figura 5. Crecimiento en dimensión de las turbinas de viento a partir de 1980 y prospectos.



FUENTE: Mapa de ruta tecnológica de la energía eólica (IEA, 2013)

En el mercado global, las turbinas eólicas de alta velocidad, han perdido participación de mercado en años recientes, favoreciendo turbinas de viento de media y baja velocidad. Se estima que en las próximas dos o tres décadas la turbina eólica vertical (aerogenerador), pueda superar a la tecnología horizontal que actualmente predomina, al requerir menos espacio de tierra. Para prevenir una degradación del medio ambiente, las tecnologías deberán considerar principios de desarrollo sostenible.

El gran reto en la tecnología de energía eólica, consiste en diseñar una turbina más eficiente, robusta y menos costosa que las que existen

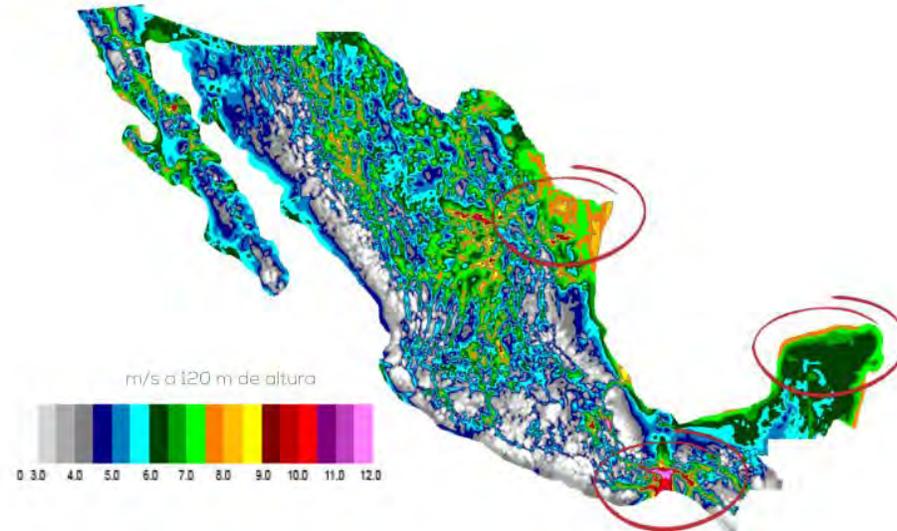
actualmente, para aprovechar la energía del viento transformándola en electricidad. Así también, se requieren de innovaciones en su diseño, materiales.

Contexto Nacional

A nivel mundial, México está posicionado como uno de los mejores sitios para la generación de electricidad a partir de la fuerza del viento. Los estados de Oaxaca, Yucatán y Tamaulipas, han registrado velocidades de vientos mayores a 8 m/s y factores de planta cercanos al 45%, lo cual las convierte en las zonas con mayor potencial eólico en México (ver figura 6).

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Figura 6. Velocidad del viento en México.



FUENTE: La energía eólica y el nuevo mercado mexicano, (Saltillo, Tadeo, & Sánchez, 2017).

El estado de Oaxaca, se caracteriza por ser uno de los mejores sitios, no solo en el país sino del continente americano, para generación de electricidad mediante el viento, particularmente, la región denominada Istmo de Tehuantepec. En esa región, el viento tiene una velocidad promedio de 8.5 m/s a una altura de 50 m, por lo que está considerada como una de las mejores regiones para aprovechar la energía eólica.

Derivado del gran potencial eólico que posee nuestro país, en los últimos años se han desarrollado estrategias para incorporar la generación eólica en la matriz energética. Actualmente, se realizan estudios para determinar sitios factibles para el desarrollo de la energía eólica en México.

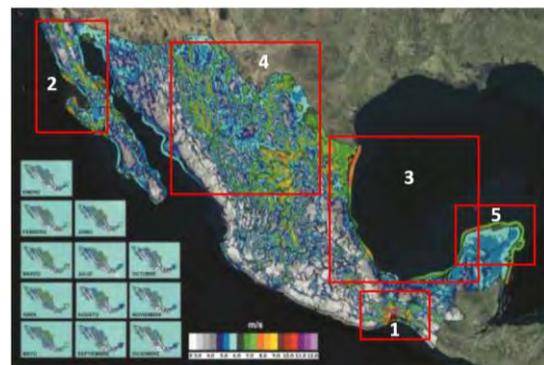
Los estudios realizados por Estados Unidos en el laboratorio nacional de energías renovables (NREL, por sus siglas en inglés), CFE e INEEL, han estimado un potencial eólico alrededor de 70,000 MW en México, de los cuales se tiene un 4% en uso, distribuidos en la península de California,

La Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), señala que se ha cuantificado el potencial eólico técnico y económicamente competitivo, proponiendo que para el año 2020

región central, península de Yucatán y el Istmo de Tehuantepec.

En la figura 7, se puede apreciar con recuadro rojo las cinco regiones de alto potencial, donde (1) es el Istmo de Tehuantepec, (2) Estado de Baja California, (3) la costa del Golfo de México, (4) el norte del país y (5) la costa de Yucatán.

Figura 7. Potencial del recurso eólico.



FUENTE: INERE 2016, (SENER-CFE, 2015).

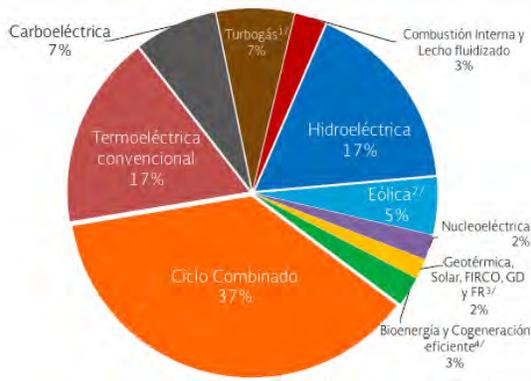
se cuente con una capacidad instalada de 12 GW e incluso se pueda rebasar esta capacidad en función del potencial identificado (AMDEE, PWC, 2017).

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Capacidad instalada

En 2016, la capacidad instalada del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), fue de 73,510 MW, donde el 71.2%, corresponde a centrales eléctricas convencionales y el 28.8% a centrales eléctricas que emplean fuentes limpias (SENER, 2017a). La energía eólica representa el 5% de la capacidad instalada total (ver figura 8).

Figura 8. Capacidad instalada por tipo de tecnología 2016.



^{1/} Incluye plantas móviles. ^{2/} Incluye Generación Distribuida (GD) eólica. ^{3/} Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), Generación Distribuida (GD) Solar e Híbrida y Frenos Regenerativos (FR). ^{4/} Incluye Generación Distribuida (GD) de bioenergía. El total puede no coincidir por redondeo. Información preliminar 2016. Elaborado con datos de la CRE, la CRE, el CENACE y la Subsecretaría de Planeación y Transición Energética.

FUENTE: PRODESEN 2017-2031. (SENER, 2017a)

La generación de electricidad a partir de fuentes limpias registró un aumento de 1,916 GWh, lo que representó un 3.0% más que 2015. En el año 2016, el 80% de la electricidad generada a partir de fuentes limpias, provino principalmente de centrales hidroeléctricas (48%), nucleoelectricas (16%) y eólicas (16%). Lo que indica la relevancia que tiene esta energía para fortalecer la seguridad energética del país, al reducir la dependencia de combustibles fósiles (ver tabla 2).

TABLA 2. GENERACIÓN ELÉCTRICA 2016 EN MÉXICO (GIGAWATT-HORA).

Tecnología	2015 ^{1/}	2016 ^{2/}	TCA ^{3/} (%)
Convencional	246,601	254,496	3.2
Ciclo combinado	155,185	160,378	3.3
Termoeléctrica convencional	39,232	40,343	2.8
Carboeléctrica	33,599	34,208	1.8
Turbogás ^{4/}	11,648	12,600	8.2
Combustión Interna	2,651	3,140	18.5
Lecho fluidizado	4,286	3,826	-10.7
Limpia	62,952	64,868	3.0
Renovable	47,576	49,244	3.5
Hidroeléctrica	30,892	30,909	0.1
Eólica	8,745	10,463	19.6
Geotérmica	6,331	6,148	-2.9
Solar	78	160	104.6
Bioenergía ^{5/}	1,369	1,471	7.5
Generación Distribuida (GD)	128	56	-55.8
GD Eólica	0	0	-92.2
GD Solar	112	55	-51.1
GD Bioenergía ^{5/}	16	2	-89.5
GD Híbrida ^{6/}	0	0	-96.4
FIRCO ^{7/}	33	36.12	8.3
Otras	15,376	15,624	1.6
Nucleoeléctrica	11,577	10,567.2	-8.7
Cogeneración eficiente	3,795	5,053	33.1
Frenos regenerativos	4	4	0.0
Total^{8/}	309,553	319,364	3.2

^{1/} Datos revisados. ^{2/} Información preliminar. ^{3/} Tasa de Crecimiento Anual. ^{4/} Incluye plantas móviles. ^{5/} Incluye biomasa, bagazo de caña, biogás y licor negro de acuerdo con la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos. ^{6/} Sistemas híbridos eólico-fotovoltaico. ^{7/} Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO). ^{8/} Los totales pueden no coincidir por redondeo. Elaborado con datos de la CFE, la CRE, el CENACE y la SPTE.

FUENTE: PRODESEN 2017-2031. (SENER, 2017a).

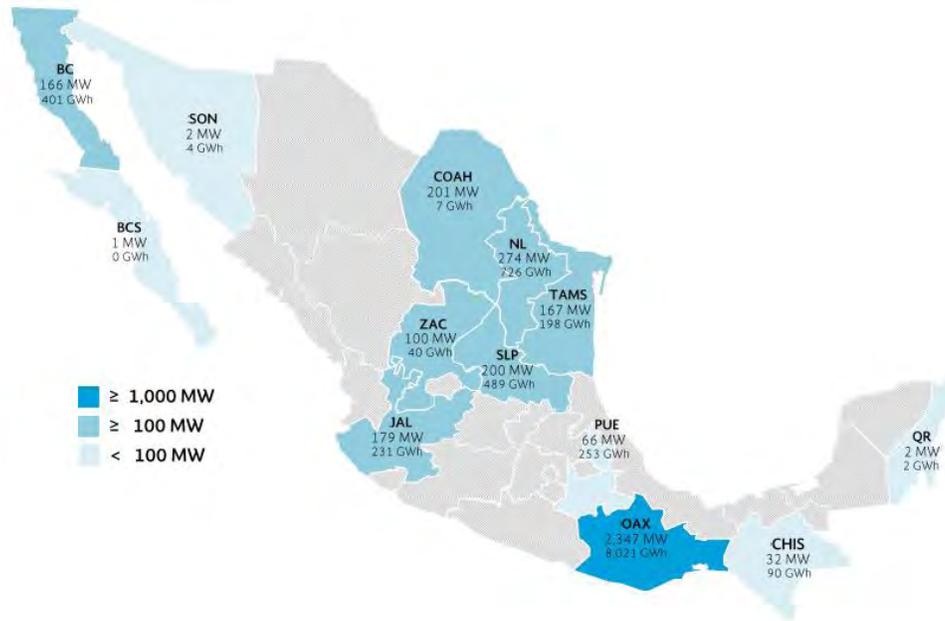
Proyectos eólicos en operación

Al cierre del 2015, alrededor del 2% de los parques eólicos en México eran operados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el resto operado a través de permisos de autoabastecimiento, pequeños productores y productores independientes de energía.

En la figura 9, se muestran las capacidades instaladas y de generación (corte finales de 2016) en los estados que actualmente tienen plantas de energía eólica, destacando el estado de Oaxaca.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Figura 9. Centrales de capacidad y generación eólica al 2016.



FUENTE: PRODESEN 2017-2031, (SENER, 2017a).

Es importante destacar que de acuerdo a la SENER (SENER, 2017f), la capacidad instalada de energía eólica en el 2016 fue de 3.7 GW, con una generación de 10,462 GWh, con lo cual las

centrales eólicas aportaron el 3% de generación de fuentes limpias en el país. Asimismo, se espera que en el período 2017-2031 (ver figura 10), se adicionen 13.5 GW de capacidad instalada.

Figura 10. Capacidad adicional en centrales eólicas 2017-2031.



FUENTE: PRODESEN 2017-2031, (SENER, 2017a).

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Como se aprecia en la figura 11, a partir del año 2012, la generación eólica ha mostrado una tendencia de crecimiento anual con adiciones anuales en capacidad superiores a los 2,200 MW. En México, la generación ha mantenido un

crecimiento constante y se ha logrado en el año 2015 una generación de más de 8.7 GWh/año. Esta fuente de energía se ha convertido en la segunda fuente de generación renovable en el país.

Figura 11. Crecimiento anual de energía eólica en México.



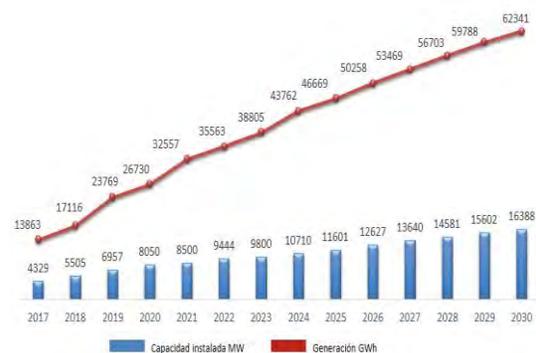
FUENTE: Reporte de avance de energías limpias 2016 (SENER, 2017b)

Prospectiva de la energía eólica

De acuerdo al programa de Desarrollo del sistema eléctrico nacional 2017-2031, se espera que para el año 2030, se cuente con una capacidad instalada de 16,388 MW, véase la figura 12.

Por su parte, el PRODESEN 2017 – 2031 prevé la incorporación de 12,656 MW de nueva capacidad eólica en el período del 2017 al 2030. De esta nueva capacidad, el 42% se encuentra en fase de construcción o por iniciar obras (figura 13).

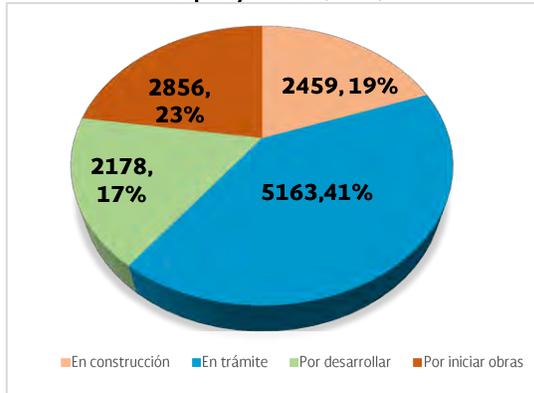
Figura 12. Prospectiva de la capacidad instalada de energía eólica 2017-2031 (MW).



FUENTE: Elaboración a partir de datos del PRODESEN 2017-2031, (SENER, 2017a).

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Figura 13. Capacidad adicional por situación de proyectos (MW).



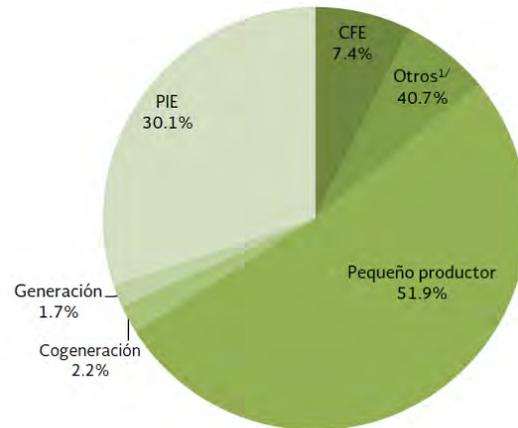
FUENTE: Elaborado a partir de PRODESEN 2017-2031, (SENER, 2017a)

El alto nivel de competitividad que representa la energía eólica, ha resultado en un incremento en el número de proyectos llevados a cabo por el sector privado. Como se observa en la figura 14, la modalidad de Pequeño Productor (PP) concentrará para el 2030 el 51.9% del total de capacidad a adicionar, seguido de los productores independientes de energía (PIEs) con el 30.1%.

De acuerdo a esta prospectiva, se espera un incremento importante en instalación de

centrales pequeñas de menos de 30 MW tendientes a suministrar energía a comunidades locales.

Figura 14. Capacidad adicional por modalidad para tecnología eólica (MW).



FUENTE: Prospectiva de energías renovables 2016-2030, (SENER, 2015b)

En el PRODESEN 2017-2031 se estima que la capacidad adicional en centrales eólicas del período del 2017 al 2031, se distribuya de la siguiente manera (ver figura 15):

Figura 15. Capacidad adicional en centrales eólicas 2017-2031.



FUENTE: PRODESEN 2017-2031, (SENER, 2017a).

Actores clave de la industria

Los principales actores del gobierno relacionados con el sector eléctrico en el país son:

- SENER
- CRE
- CFE
- CENACE

La SENER, la CRE y el CENACE son organismos públicos clave en el sector eléctrico, que cuentan con las facultades y atribuciones para llevar a cabo una planeación del sector eléctrico acorde a los requerimientos de la población.

La SENER, es la institución encargada de diseñar y conducir la política energética del país, con el fin de garantizar el suministro competitivo, eficaz y de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable.

El CENACE como operador independiente, debe garantizar que la electricidad esté disponible a precios competitivos y de calidad, mediante la operación de un mercado eléctrico mayorista eficiente, confiable y transparente. Una actividad importante del CENACE es llevar a cabo subastas para la celebración de contratos de cobertura eléctrica entre los generadores de energía eléctrica y los representantes de los centros de carga. Además, deberá instruir a transportistas y distribuidores en la celebración del contrato de interconexión de las centrales eléctricas o conexión de los centros de carga.

La CRE es un órgano desconcentrado de la SENER con una autonomía técnica y operativa y está encargada de la regulación de las industrias del gas natural y energía eléctrica en México. Las facultades de la CRE incluyen, por un lado, el otorgamiento y la revocación de permisos para actividades de generadores privados, incluida la cogeneración, la aprobación de los instrumentos de regulación y metodologías para el cálculo de las contraprestaciones por los servicios que preste la CFE a los permisionarios, además de elaborar los modelos de convenios y contratos a celebrar con la CFE. La CRE garantiza la transparencia en licitaciones, contratos y permisos.

Asociaciones

En México la principal asociación relacionada con la energía eólica es la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE, 2017), constituida en 2005 con el objetivo de promover la generación y desarrollo de la energía eólica en México, representando a los desarrolladores de proyectos eólicos ante las autoridades, sectores económicos y la sociedad en general.

Desarrolladores

En México se encuentran los principales desarrolladores de energía eólica a nivel mundial y varios desarrolladores locales, destacando las siguientes empresas: Iberdrola, Gas Natural Fenosa, EDF, Enel Green Power, Gamesa, Acciona, Grupo México, CFE, Zuma Energía, Grupo Peñoles.

Cadena de suministro

De acuerdo a un estudio realizado por INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016), en México se identificaron 63 empresas con actividades en al menos una de las etapas de la cadena de valor de la energía eólica. El estudio menciona que la mayor concentración de empresas se encuentra ejecutando actividades relacionadas con la fase de planeación de los proyectos, seguida por la etapa de operación.

En el mismo estudio se muestra que en el país no se realiza la fabricación de turbinas eólicas, aunque se menciona que existen empresas en México que fabrican componentes como generadores, aspas y principalmente torres.

Sin embargo, en el país la oferta existente de componentes y servicios especializados para los proyectos eólicos no cubren las necesidades de las empresas extranjeras.

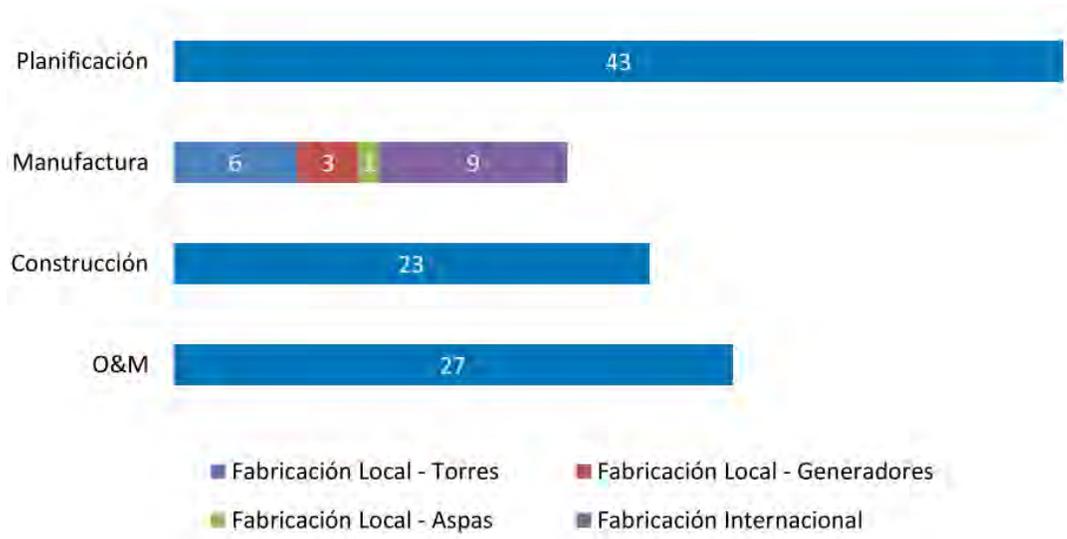
Alrededor del 50% de las empresas identificadas son nacionales, pero se observa que de los proyectos eólicos en operación en México, son desarrollados en su mayoría por empresas españolas. Las principales empresas internacionales que tienen participación en México son: Abengoa, Acciona, Alstom, EDF, EDPR, Enel Green Power, Engie, Gamesa, Gas Natural Fenosa o Iberdrola.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Las empresas internacionales proveen de los componentes para desarrollar los proyectos eólicos en México, por lo que actualmente existe una alta dependencia del extranjero.

En la figura 16, se presenta la conformación de empresas que participan en la cadena de valor en México.

Figura 16. Empresas mexicanas con participación en el sector eólico



FUENTE: Estudios de Cadenas de Valor, (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016).

Capacidades de soporte para la realización de investigación y desarrollo tecnológico

Con relación a las capacidades tecnológicas de soporte existentes en el país, el Gobierno Federal impulsó la creación del Centro Mexicano de Innovación en Energía Eólica (CEMIE-Eólico), el cual empezó sus actividades en febrero del año 2014.

El CEMIE-Eólico, es una red integrada por 32 instituciones, en su mayor parte constituida por instituciones de investigación, educación superior y empresas privadas. Esta red está enfocada en actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación y está dirigida actualmente por el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL).

Su misión principal es contar con un conocimiento unificado en materia de energía eólica y generar sinergias orientadas a la innovación, investigación y desarrollo tecnológico de la industria eólica del país.

Entre sus objetivos se encuentra el desarrollar una cartera de proyectos estratégicos, fortalecer las capacidades de investigación científica y tecnológica, así como fomentar la formación de recursos humanos especializados.

Desarrollo de talento

Con la implementación de la Reforma Energética se estima que se requerirá de 135,000 especialistas en energía renovable y eficiencia energética, el 80% técnicos. Para enfrentar estos retos, la Secretaría de Energía con el acompañamiento de la GIZ (Secretaría de Energía, 2016a), ha promovido la iniciativa comité de gestión por competencias de energía renovable y eficiencia energética (CGCEREE), cuyo objetivo es generar capital humano calificado en energía renovable y eficiencia energética, mediante el desarrollo de estándares de competencia (EC) y la certificación del personal técnico bajo dichos estándares.

Actualmente, se dispone de un estándar de competencia relacionado con la energía eólica, denominado "Mantenimiento al aerogenerador" (CONOCER, 2017). El CGCEREE también está en consonancia con el Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Materia Energética, impulsado por SENER, SEP y

CONACYT, con el objetivo de fomentar la oferta de programas de adiestramiento y certificación de competencias conjuntamente con el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER).

El INEEL por su parte, realiza actividades de capacitación y formación de recursos humanos, actualmente, tiene en desarrollo el Programa de Graduados en Energía Eólica del CEMIE-Eólico (Secretaría de Energía, 2017e), con una matrícula de 23 alumnos en el programa de Maestría en Ciencias en Energía Eólica (9 alumnos de cuarto semestre y 14 alumnos de segundo semestre).

Con relación a la formación de recursos humanos especializados en materia de generación eléctrica a partir de energías renovables y en particular en energía eólica, el Instituto de Energías Renovables (IER) de la UNAM ha promovido la creación y el fortalecimiento de programas académicos e instituciones, con la finalidad de formar profesionistas y recursos humanos altamente especializados capaces de integrarse al sector.

Ejemplo de lo anterior es el proyecto denominado "Fortalecimiento del campo de energía eólica en el programa de doctorado en ingeniería", financiado por el Fondo de Sustentabilidad Energética-Secretaría de Energía (SENER)-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Infraestructura especializada

El CEMIE-Eólico dispone de infraestructura que sus integrantes comparten para el desarrollo de los proyectos eólicos. Entre la principal infraestructura se tiene la siguiente: Centro Regional de Tecnología Eólica (CERTE), con permiso, línea eléctrica y subestación para conectar hasta 5 MW eoloeléctricos. Actualmente cuenta con un aerogenerador de 300 KW fabricado por la empresa japonesa Komaihaltec, Inc., de diseño especial para generación distribuida, cumplimiento de códigos de red estrictos, clase especial para alta turbulencia, resistencia a velocidades extremas Clase I y con un pequeño sistema híbrido eólico-fotovoltaico (5 KW). Adicionalmente, cuenta con acceso carretero, camino de servicio, ductos y registro para línea de recolección subterránea; edificación de control con aula de capacitación, taller y almacén; dos torres de medición anemométrica y climatológica, de 80 y 40 metros de altura

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Está ubicado en el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, en el centro del desarrollo eoloeléctrico más importante de México. Cuenta con terreno propio de 32 hectáreas que fue donado al INEEL por el Gobierno del Estado de Oaxaca bajo un convenio de colaboración. El Centro fue patrocinado por GEF/PNUD, como parte del proyecto "Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloeléctrica en México", mismo que fue originado, gestionado y promovido por el INEEL con anuencia y apoyo de la Secretaría de Energía. El centro cuenta con oficinas, cuarto de control y un aula para capacitación de hasta 20 personas. La Plataforma para pruebas de sistemas híbridos fue patrocinada por el Fondo Conacyt-Sener para la

Sustentabilidad Energética. El Centro está conectado a la red eléctrica en la modalidad de generación distribuida y actualmente es la primera instalación en México operando en la modalidad de Pequeña Producción, por lo que toda la electricidad que se produce se vende a la Comisión Federal de Electricidad.

El INEEL tiene un Centro Regional de Tecnología Eólica que fue construido con el apoyo económico del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), como parte de las metas del proyecto "Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloeléctrica en México".

IMAGEN 7. CERTE (CENTRO REGIONAL DE TECNOLOGÍA EÓLICA) EN LA VENTOSA, OAXACA



Fuente: CEMIE-Eólico

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Los objetivos de este centro son:

- Apoyar a fabricantes de aerogeneradores interesados en la caracterización y mejora tecnológica de sus productos bajo condiciones locales.
- Capacitar a ingenieros y personal técnico para la operación y mantenimiento de aerogeneradores y centrales eólicas.
- Conformar una plataforma de demostración, validación y evaluación, facilitando el encuentro entre fabricantes de aerogeneradores y compañías mexicanas.
- Identificar y promover convenios para la fabricación local de partes para aerogeneradores y/o emprender negocios de riesgo compartido.
- Conformar una moderna y flexible instalación para obtener datos operacionales relacionados con los aspectos de interconexión de aerogeneradores a la red de distribución de energía eléctrica.
- Servir como un medio para entender las normas, métodos de prueba y certificación, con el objeto de detectar y facilitar la implementación de requisitos adicionales que cubran los aspectos locales.

El CEMIE-Eólico ha adquirido el siguiente equipamiento a través de financiamiento:

- Licencias de software científico para investigación en potencia y energías renovables (PSIM, ANSYS, SOLIDWORKS, DIPTRACE, MATLAB, LABVIEW).
- Licencia de software PSIM para simular convertidores prototipo y generar código para DSPs.
- Licencia comercial del software ANSYS.
- Máquina de nitrógeno, tanque y compresor, como accesorios de máquina de corte láser.
- Equipo de cómputo para el desarrollo del sistema de realidad virtual: consola de videojuego, Joystic, Proyector 3D, Casco de realidad virtual Oculus, Sistema de

videograbación Cámaras usabilidad, Tablet, monitor, aire acondicionado 3 ton.

- Generador eléctrico de inducción doblemente alimentado con sistema alimentación.
- Laboratorio de robótica de alta capacidad para la investigación en posicionado móvil de fibras e inspección de palas.
- Software de simulación dinámica y/o control de fuerzas para robots industriales.
- Software para diseño de aspas para aerogeneradores (Focus6 de ECN, Focus base system, Blade Design, FEM for Blade design).
- Licencia del software ANSYS con módulos de no linealidades para análisis de materiales compuestos.
- Software especializado en aeroelasticidad (FOCUS Base System full).
- Equipo de estantería para el laboratorio de manufactura de aspas.
- Actuadores para el banco de pruebas mecánicas de aspas.
- Equipo de extensometría para el banco de pruebas mecánicas de aspas.
- Software de adquisición de datos y de movimiento para el banco de pruebas mecánicas de aspas.

Adicionalmente, el CEMIE-Eólico ha adquirido a través de proyectos distintos, el siguiente equipamiento:

- Túnel de viento y aerogenerador de eje horizontal con generador síncrono de imanes permanentes.
- Máquina láser para el corte de laminaciones de los prototipos de motores, generadores y transformadores.
- Equipo de medición de par mecánico.
- Fuente electrónica de potencia de 9kVA para estudios de calidad de la energía y de máquinas eléctricas.

- Equipo CNC protomat S43.
- Licencias de software científico para investigación en potencia y energías renovables
- Equipo para investigación en máquinas eléctricas (analizador de vibraciones, generador de funciones de dos canales, medidor de resistividad de tierras, analizador de calidad de energía Fluke).

IMAGEN 8. LABORATORIO DE PALAS EÓLICAS



Fuente: CEMIE-Eólico

Otros proyectos relevantes

En el 2014, los gobiernos de Dinamarca y México firmaron un acuerdo de colaboración bilateral dentro del Programa de Energía y Mitigación del Cambio Climático, el cual incluye la elaboración de un Atlas Eólico de México (AEM), enfocado en la identificación detallada de los lugares que cuentan con características apropiadas para desarrollar proyectos de generación eólico-eléctrica en pequeña, mediana y gran escala. En su elaboración participa el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) y la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU Wind Energy), que brinda apoyo técnico. El organismo mexicano funge como agencia ejecutora y lleva a cabo la coordinación general de las actividades.

El INEEL y la DTU participan en un grupo interdisciplinario, integrado por la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil y Ciencias de la Tierra de la CFE y los Institutos de Geografía y de Energía Renovable de la UNAM. El proyecto es financiado por el gobierno de Dinamarca y el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

Visión de la energía eólica en tierra al 2030

En la mayoría de los países del mundo existe una creciente preocupación por el impacto ambiental que genera el uso de combustibles fósiles en la producción de energía. Es por ello que se han implementado distintas políticas públicas para favorecer la participación de energías renovables en la matriz energética.

En México se ha dado un fuerte impulso a las energías limpias y se ha establecido que para el 2024, el 35% de la electricidad provenga de estas fuentes. En este sentido, el gobierno ha emprendido una serie de acciones para incentivar su desarrollo, destacando la Ley de Transición Energética (DOF, 2015) y la Ley de la Industria Eléctrica (DOF, 2014), así como la implementación de diversos instrumentos de financiamiento que han logrado enviar señales claras a los inversionistas del atractivo de este mercado.

La energía eólica es una fuente renovable de energía que abunda en nuestro planeta y se ha aprovechado desde hace mucho tiempo. Actualmente, la tecnología empleada para su aprovechamiento se considera como madura, en los últimos años, han disminuido considerablemente sus costos de producción, por lo que se ha convertido en una fuente de generación eléctrica muy competitiva con relación a otras tecnologías.

Nuestro país cuenta con un potencial eólico importante, por lo que su aprovechamiento es esencial para alcanzar las metas de generación de electricidad a partir de energías limpias. De acuerdo a datos del inventario nacional de energías limpias (SENER, 2017c), a junio de 2015, se contaba con un potencial probado de 25,104 GWh/año, existiendo regiones con velocidades de viento del orden de 8 m/s, lo cual hace a México un sitio muy atractivo para el aprovechamiento de este recurso.

Lo anterior, queda demostrado con los resultados de las Subastas de largo plazo del mercado eléctrico mayorista que el Gobierno Mexicano ha llevado a cabo desde el año 2016, consiguiendo para la energía eólica, precios promedio que van de los 33 a los 35 dólares por MWh (primera y segunda subasta respectivamente). Por otra

parte, el INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016) menciona que la energía eólica podría generar el mayor número de empleos por MW instalado (8 empleos/MW) en el país, en comparación con otras fuentes de energía renovable.

El primer parque eólico del país (La Venta I) entró en operación en 1994 con una capacidad instalada de 1.57 MW, sin embargo, es a partir del 2012 que el sector eólico en México acelera su crecimiento y actualmente puede considerarse como establecido, muestra de ello es que la capacidad instalada se ha incrementado considerablemente hasta alcanzar en el 2016, 3.7 GW (SENER, 2017f).

Por otra parte, se ha reconocido que en el país existe un alto potencial en generación distribuida y recursos eólicos costa fuera, sin embargo, estas formas de aprovechamiento no se consideraron en la visión. Sin embargo, dado el potencial que tienen en el mediano y largo plazo, se plantean de manera exploratoria en la sección desarrollo de otras alternativas de la energía eólica, de este documento.

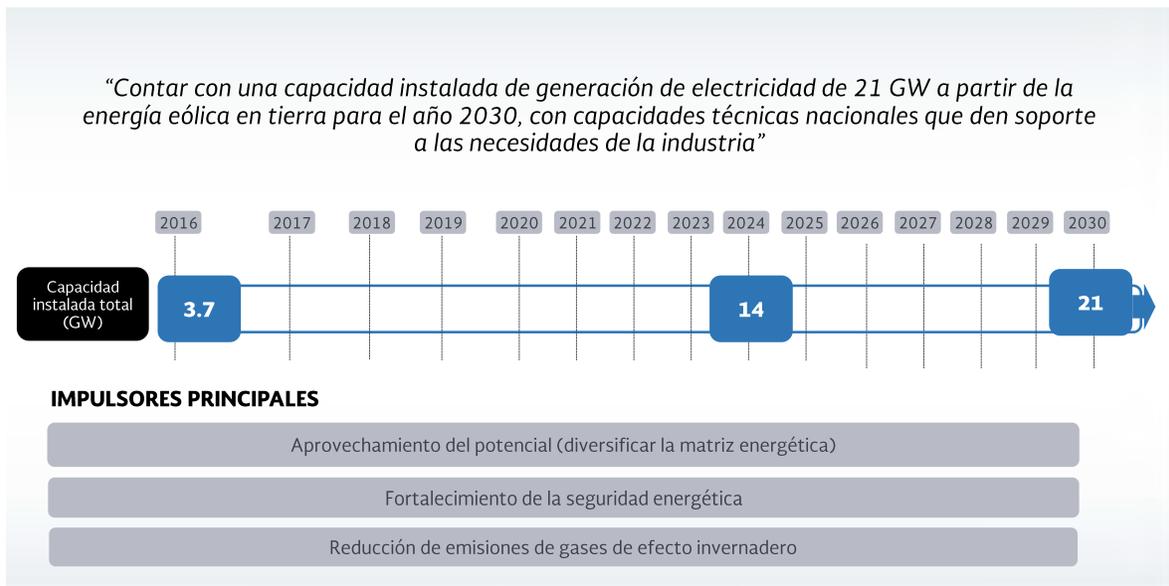
De esta forma, la visión al 2030 que se plantea en este mapa de ruta deriva del análisis de la información publicada por SENER, en específico la Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030; el Inventario Nacional de Energías Renovables (2017), el Reporte de Avance de Energías Limpias 2016 y el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (2017 – 2031); así como de una serie de aspectos que fueron discutidos por especialistas del sector eólico del país, provenientes de la industria, entidades gubernamentales y de la comunidad de investigación, desarrollo tecnológico e innovación (CoIDT+i). Entre los elementos analizados por los especialistas que participaron en el taller para la integración de este mapa de ruta, se encuentran además de los datos prospectivos de generación de electricidad emitidos por la Secretaría de Energía, los resultados de las subastas que se han efectuado, la capacidad instalada actual y la que se añadirá por proyectos en ejecución en el corto y mediano plazos, la situación del sector y su regulación vigente, así como los avances tecnológicos y la disminución de los costos de producción.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Con base en el análisis de la información y elementos antes mencionados, los especialistas en consenso, visualizan factible **“Contar con una capacidad instalada de generación de electricidad de 21 GW a partir de la energía eólica en tierra para el año 2030, con capacidades técnicas nacionales que den soporte a las necesidades de la industria”**.

La visión propone una meta para el año 2030 de 21 GW de capacidad instalada eólica, lo que significa un incremento aproximado del 30% con respecto a la meta prospectada en el PRODESEN 2017-2031 (Ver Figura 17).

Figura 17. Visión para el aprovechamiento de la energía eólica en tierra al 2030.



Al 2024 se visualiza que el país podría contar con una capacidad instalada total de 14 GW, misma que se considera posible alcanzar a partir de la conclusión de los proyectos que actualmente se encuentran en ejecución y de los que se realizarán próximamente como resultado de las subastas efectuadas.

Si se considera que en 2016, el país contaba con 41 centrales eólicas con una capacidad instalada total de 3.7 GW, la meta propuesta en este mapa de ruta representa casi seis veces más la capacidad instalada en 2016. Por su parte, los resultados de las subastas han mostrado que es posible adicionar hasta 1.1 GW de capacidad instalada en tan solo un año, lo cual se considera un buen indicador para alcanzar las metas. Esto depende en gran medida de la continuidad de las políticas públicas en el país que están

incentivando el crecimiento del mercado y del sector.

Por otra parte, se identificaron elementos que en los próximos años impactarán de manera positiva, en el crecimiento de la capacidad instalada de la energía eólica, tales como la electrificación del transporte y el uso de la energía eólica en otras aplicaciones relacionadas con el agua (desalinización y bombeo).

Asimismo continuará la tendencia en la mejora de la tecnología eólica relacionada principalmente a incrementar los factores de planta, la vida útil de los aerogeneradores, así como una mejora en las políticas tecnológicas que contribuyan al desarrollo e implementación de líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, centros de

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

almacenamiento y otros tipos de infraestructura para incorporar la energía eólica.

Otro elemento de la visión, es lograr el fortalecimiento de las capacidades técnicas nacionales, es decir, generar las condiciones para desarrollar los recursos humanos especializados, la infraestructura, la industria y la proveeduría

nacional del sector eólico en el país. Se espera que en los próximos años se desarrollen las cadenas de suministro para este sector en áreas estratégicas, incrementando el contenido nacional en la cadena de valor de los proyectos eólicos.

IMAGEN 9. PARQUE EÓLICO - PUEBLA



Fuente: http://fotos.eluniversal.com.mx/coleccion/muestra_fotogaleria.html?idgal=617

Implementación de la visión

Lograr la visión que se ha establecido en este mapa de ruta, implica la realización de una serie de acciones estratégicas y habilitadoras; las primeras tienen un carácter primordialmente tecnológico y se enfocan en resolver problemáticas relevantes relacionadas con procesos de trabajo (estándares, metodologías), infraestructura y herramientas (software, bases de información, entre otros); en tanto que las acciones habilitadoras, se orientan en la solución de barreras relacionadas con aspectos sociales, económicos, ambientales, de regulación y recursos humanos, que tienen gran impacto en el desarrollo de la industria.

La definición de las acciones estratégicas consideró el análisis de las diferentes etapas que integran los proyectos eólicos (diseño y fabricación de componentes, planeación y diseño del proyecto, construcción, instalación, operación y mantenimiento). De estas etapas, se observa que la operación y el mantenimiento de las centrales eólicas, son las que concentran la mayor parte de las acciones estratégicas, mismas que están direccionadas a la reducción de costos mediante la planeación y optimización de las líneas de transmisión de la energía de las centrales a los nodos y la colaboración entre las empresas y la comunidad de investigación y desarrollo tecnológico del país para generar soluciones tecnológicas que incrementen la competitividad de la industria.

En lo que respecta a las acciones habilitadoras, éstas se enfocan en mejorar las regulaciones que impactan en los procesos de gestión de proyectos eólicos, implementar acciones que impulsen una relación ganar-ganar en los contratos de arrendamiento entre desarrolladores y comunidades indígenas, generar cadenas de suministro nacionales y desarrollar especialistas competentes que participen en todas las etapas de desarrollo de un proyecto eólico, tanto a nivel técnico como profesional.

Finalmente, se plantean una serie de acciones denominadas de soporte, cuya problemática es compartida con otras energías renovables y que representan retos técnicos y barreras relevantes para el crecimiento de la industria, como es el caso del almacenamiento de energía y la

expansión de la red nacional de transmisión y la red general de distribución.

Un factor clave de éxito del mapa de ruta, es el involucramiento de los actores que se identifican clave para el desarrollo del sector. En este sentido, se identificaron tres grupos de actores relevantes; por una parte los organismos del gobierno integrados principalmente por SENER, CRE, SE, CENACE, SHCP, SEMARNAT, SEP y CONACYT; cuyas principales tareas están relacionadas con la regulación del sector, implementación de mecanismos que incentiven el desarrollo de la industria y facilitar el financiamiento para fortalecer las capacidades tecnológicas del país.

En un segundo grupo se encuentra la comunidad de investigación, desarrollo tecnológico e innovación (CoIDT+i) que está integrada por las instituciones de educación superior, los centros de investigación y desarrollo tecnológico tanto públicos como privados del país, incluyendo al CEMIE- Eólico. El rol de esta comunidad es desarrollar actividades de investigación y desarrollo tecnológico, generar y fortalecer las capacidades tecnológicas para soportar las necesidades de la industria. En este sentido el CEMIE-Eólico es esencial en la formación de recursos humanos especializados, la coordinación y ejecución de acciones y proyectos cuyos resultados sean de valor para la competitividad del sector industrial.

Finalmente, en el tercer grupo se encuentra la industria, integrada principalmente por desarrolladores, proveedores, empresas de servicios, operadores y asociaciones; entre las actividades que se espera realice este grupo se encuentran: invertir en el sector, generar y comercializar electricidad, proveer insumos y servicios, generar empleos, así como contribuir en sinergias para aplicar las soluciones generadas por la comunidad de investigación y desarrollo tecnológico.

En las siguientes secciones se describen las acciones estratégica, habilitadoras y de soporte, que en conjunto se consideran las de mayor relevancia para alcanzar la visión establecida.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

I. Acciones estratégicas: Retos

Una de las características de la industria eólica es la madurez de su tecnología, los equipos principales que forman parte de una central son bien conocidos, se encuentran estandarizados, disponibles comercialmente y fabricados por proveedores líderes a nivel internacional, que han logrado reducir los costos de producción de la energía al aumentar el tamaño de los aerogeneradores de forma competitiva. Además, los desarrolladores de parques eólicos, generalmente compañías extranjeras, tienen dominado el conocimiento y amplia experiencia en el diseño, construcción y puesta en marcha de este tipo de instalaciones.

Tomando en cuenta esta situación y el crecimiento que está teniendo el mercado eólico en nuestro país, se visualizan en el corto plazo, mayores oportunidades para implementar soluciones tecnológicas durante las fases de operación y mantenimiento que incrementen la rentabilidad de la industria.

En el mediano y largo plazo se deberán resolver retos tecnológicos asociados con el almacenamiento de energía y la expansión de la red de transmisión y distribución de electricidad; estos retos se consideran de soporte para el crecimiento del sector eólico y se presentan con detalle en la sección de acciones de soporte.

En la tabla 3 se presentan los principales retos tecnológicos que se consideran tienen un impacto sustantivo en el logro de la visión, así como el resultado que se espera obtener y la estrategia tecnológica a seguir.

El primer reto refleja la necesidad de reducir costos durante las etapas de operación y mantenimiento, está enfocado en generar soluciones tecnológicas que resuelvan problemas de la industria durante la operación de una central, para ello, se considera fundamental aprovechar las capacidades técnicas y de recursos humanos que existen en el país; mediante la vinculación efectiva entre la comunidad de investigación y desarrollo tecnológico e innovación (CoIDT+i) y los desarrolladores.

Se espera que como resultado de esta vinculación, se generen soluciones tecnológicas económicamente viables que sean implementadas en la industria.

El segundo reto busca minimizar costos de inversión y se enfoca en optimizar la evacuación de la energía que se produce en distintas centrales eólicas localizadas en una misma región, hacia los nodos de interconexión.

TABLA 3. RETOS TECNOLÓGICOS PRIORITARIOS PARA ALCANZAR LA VISIÓN AL 2030.

Reto	Resultado esperado	Estrategia
<i>Desarrollar soluciones tecnológicas para la optimización de la operación y el mantenimiento de centrales eólicas.</i>	Soluciones viables que sean implementadas por la industria	Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional
<i>Fortalecer la red de transmisión a través de la optimización de la evacuación de la energía de las centrales eólicas hacia el nodo de interconexión.</i>	Estrategias y regulación para el desarrollo de líneas regionales de transmisión para la evacuación de la energía de las centrales eólicas hacia el nodo de interconexión.	Desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

En ambos retos se considera que la estrategia a seguir es el desarrollo con recursos disponibles a nivel nacional, lo anterior, en virtud de que existen las capacidades tecnológicas como son: infraestructura, herramientas y especialistas con los conocimientos y experiencia necesaria para generar soluciones que den respuesta a las necesidades de la industria.

En los siguientes apartados se describen con mayor detalle las acciones estratégicas propuestas que están asociadas a cada uno de los retos técnicos que se han presentado.

a) **Desarrollar soluciones tecnológicas para la optimización de la operación y el mantenimiento de centrales eólicas.**

México cuenta con capacidades técnicas, recursos humanos especializados e infraestructura en materia de energía eólica que pueden aprovecharse para generar soluciones tecnológicas viables y prácticas que atiendan las necesidades de las empresas e incrementen su competitividad.

Actualmente, y no obstante los esfuerzos realizados desde distintos ámbitos, se observa que la vinculación entre las entidades que forman la comunidad de investigación, desarrollo tecnológico e innovación (CoIDT+i) y las empresas del sector eólico debe fortalecerse.

Para ello, es necesario realizar una serie de acciones conjuntas tendientes por una parte, a lograr un mejor entendimiento de los problemas reales que enfrentan las empresas, los tiempos requeridos para su solución y sus costos; y por otra, a dar a conocer las capacidades técnicas

actuales y potenciales de las que puede disponer la industria.

Al respecto, se han establecido en el país mecanismos orientados a acercar a la CoIDT+i y los industriales. Cabe destacar que instituciones como CONACYT y el Fondo de Sustentabilidad Energética han promovido este acercamiento y vinculación, ejemplo de ello, es la creación del CEMIE-Eólico que está integrado por instituciones académicas, centros públicos de investigación y empresas privadas, cuyo objetivo primordial es fortalecer las capacidades nacionales para:

- La formación de recursos humanos especializados.
- El desarrollo tecnológico e innovación a través de proyectos estratégicos.

Lo anterior coadyuva en el conocimiento, dominio y aprovechamiento de la energía eólica y permite vencer las barreras tecnológicas existentes; además, de promover las condiciones tecnológicas adecuadas para el desarrollo de la industria eólica en México.

En términos generales, la solución a este reto implica la implementación de estrategias que favorezcan la participación colaborativa y sinérgica, y con objetivos consensados, entre los integrantes de la industria y la CoIDT+i, así como de herramientas que faciliten el intercambio de información entre estos sectores.

A continuación se presentan las acciones prioritarias sugeridas para atender este reto.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2021

Acciones prioritarias sugeridas	Periodo de atención	Participantes clave
Establecer mecanismos formales de comunicación para identificar oportunidades y capacidades de la industria y la CoIDT+i.	6 meses	CoIDT+i, Industria, CONACYT, SENER, SE, Asociaciones
Elaborar un inventario de capacidades tecnológicas de la CoIDT+i.	6 meses	Industria, CoIDT+i, CONACYT, SENER, SE
Realizar proyectos de colaboración para crear soluciones tecnológicas de interés para las	Permanente	Industria, CoIDT+i, CONACYT, SENER, SE, Asociaciones

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Acciones prioritarias sugeridas	Periodo de atención	Participantes clave
empresas y la ColDT+i.		
Diseñar e implementar herramientas informáticas para intercambiar información entre los diferentes actores.	12 meses	SENER, SE, Industria y la ColDT+i, Asociaciones
Difundir resultados de los proyectos.	Permanente	Industria y ColDT+i, Asociaciones

Para dar atención a este reto se proponen cinco acciones, la primera se enfoca en fortalecer el acercamiento entre la industria y la ColDT+i, mediante la definición de mecanismos formales de comunicación que se realicen de manera sistematizada, por ejemplo; foros, talleres de trabajo, reuniones entre directivos, entre otros, donde se den a conocer las necesidades actuales y futuras de la industria y las capacidades en investigación y desarrollo tecnológico de la ColDT+i.

La segunda acción tiene por objetivo generar información que permita un mejor aprovechamiento de los recursos tecnológicos con los que cuenta el país. Como parte de este inventario se deberá considerar la inclusión de aspectos como son el número de especialistas, áreas de conocimiento, organizaciones de adscripción, centros de investigación y universidades con actividades en temas de energía eólica, servicios tecnológicos y pruebas que realizan, así como laboratorios e infraestructura relevante que poseen.

Una vez establecidos los mecanismos de comunicación que permitan identificar oportunidades de colaboración entre ambos sectores, éstas deben cristalizar en propuestas de proyectos de desarrollo tecnológico e innovación que generen soluciones de valor para la industria, así como el mejor aprovechamiento de los recursos de los fondos y mecanismos de financiamiento que actualmente ha implementado el Gobierno Federal, para promover el desarrollo de este tipo de proyectos. Además se debe considerar en el financiamiento soluciones de valor con la participación conjunta entre los sectores público y privado.

Entre las áreas en las que se visualizan oportunidades de participación se encuentran el

sistema mecánico y eléctrico, las estructuras de soporte, materiales para ciertas partes del aerogenerador, así como aquellos componentes y equipos de sistemas eléctricos y electrónicos auxiliares (cables, interruptores, charolas, luminarias, entre otras).

Adicionalmente, se considera muy importante la participación de la ColDT+i en la capacitación y actualización de personal técnico y profesional calificado del sector con el fin de disminuir la curva de aprendizaje y promover el desarrollo de servicios de operación y mantenimiento así como la fabricación de ciertos componentes para los aerogeneradores y parques eólicos. Estos temas serán retomados con mayor profundidad en la sección denominada “acciones habilitadoras”.

La cuarta acción, consiste en el diseño e implementación de herramientas informáticas (por ej. una plataforma digital interactiva) con el objetivo de vincular a investigadores e industriales, para el intercambio de oportunidades y capacidades específicas (empresas, centros de investigación, universidades, etc.), ya que ello puede abonar al acercamiento entre los actores para trazar proyectos colaborativos con objetivos comunes logrando empatar las oportunidades y capacidades de ambos sectores. Esta plataforma también podrá emplearse para dar seguimiento a los proyectos realizados y en ejecución.

Por último, la quinta acción se centra en difundir los resultados de los proyectos realizados, buscando multiplicar los éxitos obtenidos y ampliando el espectro de oportunidades.

Estas acciones se deben iniciar a la brevedad, las dos primeras y la cuarta pueden ser realizadas en paralelo y en conjunto, podrían realizarse en un año; posteriormente, se iniciaría la acción tres (ejecución de proyectos de colaboración) de la

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

cual se espera tener resultados significativos a partir del segundo año, sin embargo, esta acción tiene un carácter permanente. Por último, la quinta acción (difusión de resultados) tiene un carácter permanente.

Para atender este reto, se plantea llevar a cabo las acciones con los recursos disponibles a nivel

nacional y con la participación de SENER, SE, CONACYT, industria, asociaciones y la ColDT+i. La participación del CEMIE-Eólico en la implementación de esta acción estratégica, es primordial para coordinar y direccionar las actividades de investigación y desarrollo tecnológico hacia la generación de soluciones de alto impacto para la industria.

IMAGEN 10. SERVICIO DE MANTENIMIENTO A AEROGENERADORES



Fuente: <http://comantur.com>

b) Fortalecer la red de transmisión a través de la optimización de la evacuación de la energía de las centrales eólicas hacia el nodo de interconexión.

En México se tienen 41 centrales eólicas (SENER, 2017d), muchas de estas comparten nodos de interconexión. Cada central construye sus líneas de transmisión que van del punto de generación (centrales eólicas) al punto de interconexión (nodo).

Existen regiones en las que se concentra un mayor número de parques por lo que hay múltiples líneas direccionadas hacia un mismo

nodo, esta característica tiene diferentes impactos asociados, el primero de ellos es el ambiental, ya que la construcción de numerosas líneas de transmisión conlleva una transformación del entorno.

Una característica de esta problemática está enfocada en los acuerdos entre particulares para optimizar la manera en la cual evacuan la energía desde las centrales de generación hacia los nodos, en este sentido hace falta reforzar la estrategia para impulsar que se logren estos acuerdos de optimización de líneas de evacuación de energía entre particulares.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Como alternativa de solución a la problemática arriba mencionada, se propone que los distintos desarrollos eólicos localizados en una misma región (en el caso de que sea conveniente), compartan la línea de transmisión utilizada para evacuar la energía. Dicho resultado generaría beneficios a las empresas al disminuir la inversión en bienes de capital (CAPEX). Para ello se sugiere establecer una estrategia que sea adecuada a los principios y normas existentes y que no afecte la libre competencia entre las empresas.

Otro aspecto importante a considerar en esta acción estratégica, es la incorporación a la red de la energía eléctrica proveniente de la generación distribuida, que si bien, actualmente no está desarrollada en el país, se estima que en un futuro cercano podría crecer de manera considerable.

A continuación se presentan las acciones sugeridas para atender este reto:

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2020

Acciones prioritarias sugeridas	Periodo de atención	Participantes clave
Identificar las principales problemáticas y alternativas de solución para la optimización de las líneas de transmisión.	6 meses	SENER, CRE, CENACE, SEMARNAT, CoIDT+i, Industria, Asociaciones
Definir estrategias y regulaciones para la optimización de las líneas de transmisión.	6 meses	SENER, CRE, CENACE, SEMARNAT, CoIDT+i, Industria, Asociaciones
Implementar estrategias y regulaciones para la optimización de las líneas de transmisión.	18 meses	SENER, CRE, CENACE, SEMARNAT, CoIDT+i, Industria, Asociaciones

Para atender este reto se proponen tres acciones prioritarias, la primera se enfoca en el análisis de la problemática desde distintas aristas y la creación de los foros de discusión en los que participen empresarios, representantes del gobierno y de la comunidad de investigación y desarrollo tecnológico, para identificar opciones de solución y mecanismos para optimizar la evacuación de la energía permitiendo una libre competencia entre los desarrolladores. Aunque se considera que esta acción corresponde al ámbito industrial, deberá ser promovida principalmente por SENER, CENACE, CRE y SEMARNAT.

Posteriormente, se deberá definir la estrategia a seguir y las regulaciones necesarias. Como parte de esta estrategia se deberán incluir acciones en el ámbito operativo y de mercado. Es importante mencionar que al ser un asunto preponderantemente entre particulares, el gobierno tendrá que fungir como árbitro para la aplicación de las regulaciones.

Como resultado de esta acción se visualiza la elaboración de convenios, contratos de colaboración, definición de tarifas, regulaciones enfocadas en aspectos de impacto ambiental y en el plano operativo, la generación de actividades enfocadas en la optimización de los nodos.

Por último, la tercera acción tiene el objetivo de implementar la estrategia y las regulaciones, estableciendo un sistema de seguimiento al cumplimiento de la misma.

Las tres acciones se ejecutan de forma secuencial, y se estima se terminen en dos años y medio. La estrategia general para atender este reto es con recursos disponibles a nivel nacional.

Los actores principales para llevar a cabo estas actividades son la SENER, CRE, CENACE, SEMARNAT, Industria, Asociaciones y la CoIDT+i, de quien se espera asesoría para la identificación de soluciones.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

II. Acciones habilitadoras: Barreras

Un aspecto fundamental para facilitar la implementación de las acciones estratégicas que se han establecido para alcanzar la visión de energía eólica hacia el año 2030, es la definición de acciones habilitadoras orientadas a mitigar las principales barreras identificadas.

En términos generales, las barreras se clasifican en cinco tipos que se describen a continuación:

- **Regulatorias:** Están relacionadas con los aspectos de política tecnológica, energéticas e industrial; instrumentos legales; así como de administración de permisos de uso y explotación de recursos naturales y manifestación de impacto ambiental, que limitan el desarrollo de un proyecto eólico.
- **Económicas:** Incluyen aspectos de mercado, financiamiento, inversiones, clientes, proveedores, inversionistas e instituciones de financiamiento para facilitar los proyectos eólicos.
- **Recursos Humanos:** Consideran aspectos relacionados con la disponibilidad, suficiencia y especialización de personal técnico y profesionalista para soportar las actividades de la cadena de valor de los proyectos eólicos.

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

- **Ambientales:** Todas las tecnologías de energías renovables tienen algún impacto en el ambiente local – por ejemplo, visual, acústica, uso de la tierra, ecosistemas naturales, áreas naturales protegidas, activos históricos y culturales, entre otros. Algunas veces estos impactos pueden constituir el mayor conflicto con otros intereses. Estos impactos pueden ser reducidos por el uso de medios técnicos.

Se considera que en la industria eólica nacional, las principales barreras se ubican principalmente, en cuatro de las categorías anteriores, mismas que corresponden a los ámbitos económico, regulatorio, social y de recursos humanos, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Ámbito	Barrera	Acción habilitadora
Regulatorio	Carencias en la normatividad para la negociación de contratos de arrendamiento de tierras.	Fortalecer la regulación para el arrendamiento de tierras.
	Ineficiencia en el proceso de gestión para la obtención de permisos, autorizaciones y licencias a nivel federal, estatal y municipal.	Mejorar el proceso de gestión para la autorización de proyectos eólicos a través de la estandarización de procedimientos en los tres niveles de gobierno.
Económico	Alta dependencia del extranjero en el suministro de insumos para la industria eólica.	Desarrollar cadenas de suministro nacionales enfocadas en la fabricación de componentes y prestación de servicios especializados para proyectos eólicos.
Recursos humanos	Falta de personal especializado para participar en los procesos sustantivos de los proyectos para el desarrollo de las centrales eólicas.	Formar especialistas capacitados y certificados para diseñar, instalar, operar y dar mantenimiento a las centrales eólicas.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Ámbito	Barrera	Acción habilitadora
Social	Falta de lineamientos para realizar Evaluaciones de Impacto Social (EVIS).	Definir los criterios de evaluación y los mecanismos de seguimiento del impacto social adecuados a las condiciones nacionales.

A continuación, se describen las acciones habilitadoras propuestas para superar las barreras que se considera limitan el crecimiento de la industria eólica en el país.

Ila. Ámbito Regulatorio

Con la reforma energética se inició en el país una serie de transformaciones, tanto estructurales como regulatorias, parte de estos cambios fueron la promulgación de la Ley de Transición Energética (DOF, 2015) y de la Ley de la Industria Eléctrica (DOF, 2014), así mismo diversos lineamientos, reglas de operación y metas en corto, mediano y largo plazo para la generación de electricidad con energías limpias.

Estas transformaciones han logrado incentivar la inversión en el sector eólico, muestra de ello son los resultados de las subastas eléctricas en donde la energía solar fotovoltaica y eólica fueron las más atractivas para los inversionistas.

Por otra parte, estas subastas establecen compromisos comerciales con duración de 15 y 20 años, lo cual ha generado confianza a nivel internacional para invertir en la generación eléctrica a través de energías limpias en el país.

En los próximos años se deberán implementar mejoras al marco regulatorio, incorporando las lecciones aprendidas a partir de las subastas y el funcionamiento del mercado eléctrico, por otra parte, se debe continuar la difusión del marco regulatorio para incentivar a que inversionistas nacionales se interesen en el sector, así como generar confianza en la continuidad y estabilidad de las políticas públicas.

Asimismo se requiere fortalecer la sinergia entre organismos reguladores para eficientar las gestiones y el seguimiento a la eficiencia de los proyectos que se establezcan en el país.

Se han identificado barreras en el ámbito regulatorio relacionadas con la ineficiencia en el proceso de gestión para la obtención de permisos, autorizaciones y licencias (PAL) a nivel federal, estatal y municipal. Lo cual origina retrasos e incrementa los gastos en los proyectos, y en algunos casos la cancelación de los mismos.

Otra problemática está relacionada con la negociación y el establecimiento de contratos de arrendamiento de la tierra entre empresas desarrolladoras y dueños de propiedades, lo cual repercute en futuros conflictos sociales debido a la inconformidad en los términos de estos contratos.

Considerando lo anterior se proponen las siguientes acciones habilitadoras para superar estas barreras de tipo regulatorio.

- Fortalecer la regulación de los arrendamientos de la tierra entre empresas desarrolladoras y dueños de terrenos.
- Mejorar el proceso de gestión para la autorización de proyectos eólicos a través de la estandarización de procedimientos en los tres niveles de gobierno.

A continuación se describen con mayor detalle dichas acciones habilitadoras.

a) Fortalecer la regulación de los arrendamientos de la tierra entre empresas desarrolladoras y dueños de terrenos.

Una parte importante en la definición de un proyecto eólico es determinar el lugar donde se instalará el parque y por consiguiente, efectuar las negociaciones con los dueños de los terrenos para establecer un contrato de largo plazo que permita la operación de la central eólica durante su vida útil.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Dentro de los beneficios que obtienen los propietarios de las tierras por parte de los desarrolladores, se encuentran, la regularización de sus tierras sin costo, contratos de arrendamiento a largo plazo y baja ocupación de superficie, lo que permite a los propietarios continuar con el uso de sus terrenos. No obstante, una problemática existente está en el proceso de negociación y establecimiento de contratos ganar-ganar entre desarrolladores y dueños de la tierra. Por una parte, los desarrolladores de proyectos eólicos expresan que existe dificultad en la negociación de contratos de arrendamiento de terrenos, así como el incumplimiento de los mismos por parte de los dueños.

En contraste, se han reportado casos en donde se han establecido contratos de arrendamiento muy ventajosos para los desarrolladores, originando el descontento de los propietarios de la tierra, debido a que tienen la percepción de que fueron engañados.

Considerando las problemáticas que se han mencionado, se plantean a continuación una serie de actividades que se sugieren implementar para fortalecer la regulación asociada con el arrendamiento de terrenos.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2020

Actividad sugerida	Tiempo estimado para su solución	Principales actores involucrados
Desarrollar un marco normativo para el arrendamiento de terrenos para centrales eólicas.	24 meses	Gobierno Federal, Estatal y Municipal, Industria y propietarios de tierra (ejidatarios, comunidades agrarias).
Difundir el marco normativo a nivel nacional, específicamente a los dueños de terrenos e industria sobre los términos del arrendamiento de las tierras.	12 meses (permanente)	Gobierno Federal, Estatal y Municipal, Industria y Propietarios.

Para implementar esta acción habilitadora se plantean dos actividades, la primera, se relaciona con la revisión de las regulaciones para el arrendamiento de terrenos, lo anterior, con la finalidad de definir el marco normativo en donde se especifiquen los beneficios, obligaciones de los involucrados y los mecanismos aplicables para solventar las posibles diferencias. Asimismo, esta actividad puede incluir la elaboración de modelos de contrato donde se consideren distintas opciones para el arrendamiento de terrenos destinados al desarrollo de parques eólicos.

La segunda actividad tiene como objetivo principal, difundir la normatividad para el arrendamiento de terrenos que pueden ser empleados para desarrollos eólicos, particularmente, es importante que el gobierno se asegure de que los dueños de los terrenos sean informados de los beneficios, obligaciones, así como de las diferentes opciones que tienen para

rentar sus terrenos, previo al proceso de contratación. De manera similar, se deberán propiciar reuniones con las empresas desarrolladoras de parques eólicos para dar a conocer las regulaciones relacionadas con el arrendamiento en áreas en las que se ubican comunidades indígenas.

La primera actividad tiene una duración estimada de dos años y la segunda, se estima realizarse en un año; sin embargo, antes del inicio de un proyecto eólico la autoridad deberá asegurarse que se haya comunicado de manera efectiva la normatividad a los involucrados. Las instituciones clave en la ejecución de estas actividades son el Gobierno Federal, Estatal y Municipal, desarrolladores de parques eólicos y propietarios de tierra (por ej., ejidatarios y comunidades agrarias). Se considera que de esta actividad se pueden tener resultados a corto plazo.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

b) Mejorar el proceso de gestión para la autorización de proyectos eólicos a través de la estandarización de procedimientos en los tres niveles de gobierno.

Actualmente, las empresas que solicitan autorización de sus propuestas para el desarrollo de proyectos eólicos, se enfrentan con procedimientos complejos, no claros y tardados en su ejecución.

Esta problemática ya ha sido visualizada por el Gobierno Federal, por lo que implementó un mecanismo denominado “ventanilla única”, cuya operación está a cargo de SENER. Esta ventanilla tiene como objetivo integrar los trámites de energía renovable en el portal “gob.mx”, para gestionar trámites y servicios gubernamentales de manera eficiente; sin embargo, el problema persiste a nivel estatal y municipal, en donde se carece de normatividad y procedimientos estandarizados para la gestión de permisos de proyectos eólicos.

Las mejoras de los procesos de gestión deben abarcar los diferentes momentos y tipos de trámites: (a) preparación de la documentación para la subasta, (b) fase de autorización de la ejecución del proyecto, (c) durante la ejecución del proyecto y (d) durante la operación del parque eólico.

Por otra parte, se considera importante el homologar el proceso para la expedición de las licencias de construcción y funcionamiento a nivel municipal, impulsando con ello mayor certeza para los desarrolladores.

Asimismo, se percibe que aún hace falta clarificar los ámbitos de responsabilidades de los organismos gubernamentales, así como determinar la cantidad de servidores públicos capacitados adecuadamente para atender estas solicitudes, a fin de dar mayor agilidad a los trámites.

Las actividades sugeridas para mejorar el proceso de gestión para la autorización de proyectos eólicos, se describen a continuación:

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2021

Actividad sugerida	Tiempo estimado para su solución	Principales actores involucrados
Consolidar la conformación de la ventanilla única para trámites relacionados con gestión de proyectos de energías limpias a nivel federal y extenderla a los tres niveles de gobierno	12 meses	SENER, SEMARNAT, SHCP, CRE, SEGOB, CDI, Gobierno estatal, y municipal, CENACE, INAH
Elaborar una guía general de trámites, permisos, autorizaciones y licencias para proyectos de energía limpia a nivel estatal y municipal.	12 meses	SENER, SEMARNAT, SHCP, CRE, SEGOB, CDI, Gobierno estatal, y municipal, CENACE, INAH
Realizar capacitación del personal en los tres niveles de gobierno con énfasis en los municipios.	12 meses (permanente)	SENER, SEMARNAT, SHCP, CRE, SEGOB, CDI, Gobierno estatal, y municipal, CENACE, INAH
Asignar la cantidad óptima de personal que debe atender los trámites para permisos, autorizaciones y licencias.	Permanente	SENER, SEMARNAT, SHCP, CRE, SEGOB, CDI, Gobiernos federal, estatal y municipal, CENACE, INAH

Para implementar esta acción se definieron cuatro actividades, la primera se relaciona con la consolidación de procesos para conformar una ventanilla única con aplicación a los tres niveles

de gobierno (federal, estatal y municipal). Se deben establecer las responsabilidades y tiempos máximos de atención de cada una de las entidades encargadas de otorgar los permisos.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA

ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

La segunda actividad tiene como objetivo la elaboración de una guía general de trámites, permisos, autorizaciones y licencias para proyectos de energía limpia a nivel estatal y municipal. Lo anterior, implica la homologación de las tasas de licencia e impuestos que se deben otorgar a la federación, estados y municipios.

Por otra parte, esta guía debe considerar el proceso para la expedición de las licencias de construcción y funcionamiento a nivel municipal.

La tercera actividad, se enfoca en la capacitación del personal en los tres niveles de gobierno que participan en el proceso. La capacitación debe incluir temas de gestión de proyectos de energías renovables (infraestructura, generación y distribución) y el proceso de disciplina operativa.

Los programas de capacitación se pueden implementar a través del Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED), el cual es un organismo perteneciente a la Secretaría de Gobernación.

Por último, en la cuarta actividad, se considera fundamental asignar la cantidad adecuada de personal para atender los trámites. Esta problemática es más crítica para algunas dependencias, como el INAH.

Para la implementación de las dos primeras actividades se considera una duración aproximada de un año y pueden ejecutarse de forma paralela, la tercera actividad se lleva a cabo una vez implementadas las dos primeras actividades y tiene un carácter permanente. Finalmente, la actividad cuatro se implementará de acuerdo a la demanda de servicios y su inicio puede ser de inmediato. Se estima que los primeros resultados se obtengan en dos años, sin embargo, estas actividades se ejecutan de manera permanente.

Los actores que deben participar en estas actividades son: SEGOB, SENER, SEMARNAT, SHCP, CRE, CENACE, INAH, Gobiernos estatales y municipales.

IIb. Ámbito Económico

Actualmente el sector eólico está dominado por empresas extranjeras quienes diseñan, desarrollan y operan las centrales eólicas en el

país, sin embargo hay fortalezas en el país que pueden ser aprovechadas para revertir esta situación. México cuenta con la mayor parte de las materias primas, capacidades técnicas y humanas necesarias para producir los insumos requeridos para el desarrollo de las centrales eólicas, mismas que deberán integrarse adecuadamente para formar las cadenas productivas nacionales que puedan competir con lo proveniente del extranjero.

Considerando lo anterior, se presenta la siguiente acción habilitadora para disminuir la alta dependencia del extranjero.

a) Desarrollar cadenas de suministro nacionales enfocadas en la fabricación de componentes y prestación de servicios especializados para proyectos eólicos.

Las estimaciones que se han hecho del crecimiento del sector eólico nacional, aunado a los buenos resultados que hasta ahora se han obtenido de los mecanismos que el gobierno ha implementado, permiten visualizar en los próximos años una demanda sustantiva de bienes y servicios.

De acuerdo a lo anterior, y considerando la alta dependencia que en este momento se tiene del extranjero, esta demanda será cubierta por empresas internacionales. Sin embargo, existen oportunidades importantes de crear y fortalecer cadenas productivas nacionales que satisfagan los requerimientos de la industria, y con ello reducir la dependencia del exterior.

Por otra parte, de acuerdo a la IEA un beneficio clave identificado en muchos países son los trabajadores empleados en el sector eólico. Sin embargo, todavía en México se observa que es uno de los países con menor proporción de trabajos generados en el sector.

Uno de los factores determinantes de esta problemática es el bajo desarrollo de las cadenas de suministro y empresas fabricantes de componentes eólicos en el país. De acuerdo a la IEA en su reporte anual eólico (International Energy Agency, 2015), la mayor parte de los empleos generados por el sector están relacionados con la industria manufacturera y solo una pequeña proporción está involucrado en labores de instalación y mantenimiento.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Al respecto, el gobierno es un actor importante que deberá realizar acciones sustantivas, para que las empresas extranjeras incrementen gradualmente el contenido nacional en la cadena de suministro, así como en generar las condiciones para el establecimiento de empresas

nacionales fabricantes de componentes para la industria eólica.

A continuación, se proponen una serie de actividades sugeridas para desarrollar la acción habilitadora referente al desarrollo de cadenas de suministro nacionales.

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2024

Actividad sugerida	Tiempo estimado para su solución	Principales actores involucrados
Determinar bienes y servicios de mayor impacto en el sector.	24 meses	SENER, SE, CFE, CoIDT+i, Industria, Asociaciones
Diagnosticar las capacidades nacionales en el sector.	12 meses	SENER, SE, SHCP, CFE, CoIDT+i, Industria, Asociaciones
Identificar los estándares de calidad requeridos.	12 meses	SENER, SE, SHCP, CFE, CoIDT+i, Industria, Asociaciones
Implementar programas de desarrollo a proveedores y fabricantes nacionales de componentes.	24 meses	SENER, SE, SHCP, CoIDT+i, Industria, Asociaciones
Promover políticas públicas que incentiven el fortalecimiento de proveedores y fabricantes nacionales de componentes.	36 meses	SENER, SE, SHCP, Industria, Asociaciones
Implementar una estrategia integral de financiamiento para el impulso de proveedores y fabricantes nacionales de componentes.	36 meses	SENER, SE, SHCP, CoIDT+i, Industria, Asociaciones

Para esta acción habilitadora se sugieren seis actividades. La primera está orientada a la identificación de las áreas donde se considere se tiene una mayor factibilidad de desarrollar empresas mexicanas que apoyen y representen un impacto en el crecimiento de la industria en el país.

La realización de esta actividad deberá considerar la oferta y demanda de proveeduría de componentes y servicios especializados de la industria eólica, como es el caso de servicios de adquisición, interpretación y análisis de información técnica de tipo meteorológica, ambiental, geológica y topológica.

De manera similar, se han identificado necesidades de servicios especializados, como por ejemplo, los relacionados con el transporte de

componentes sobredimensionados, que de acuerdo a las expectativas de crecimiento de la industria, será un servicio altamente demandado por el sector eólico. A nivel internacional se ha determinado la conveniencia de contar localmente con algunos servicios logísticos y de proveeduría de componentes, como es el caso de la fabricación de torres, palas, cajas de engranes, generadores eléctricos y piezas específicas, lo cual también podría implementarse en nuestro país.

La segunda actividad tiene el objetivo de identificar empresas nacionales con potencial de participar en la cadena de suministro de la industria eólica. Como parte de este análisis se deberán identificar empresas con posibilidad de ampliar sus servicios o de ser reconvertidas al

sector eólico (por ejemplo del sector eléctrico y automotriz).

La tercera actividad está enfocada en la identificación de los estándares requeridos por la industria eólica para asegurar la calidad y alineación de los servicios proporcionados por las empresas nacionales. Esta actividad depende de los resultados de la primera, en donde se determinaron los servicios clave a desarrollar en el país.

Un aspecto importante en la competitividad de la cadena de suministro, es lograr la confianza de la industria, por lo que se requiere que los servicios que se proporcionen a nivel nacional, cumplan con las especificaciones técnicas y de eficiencia requeridas.

Cabe hacer mención que para la fabricación, instalación y mantenimiento de los diferentes componentes del sistema eólico, existen estándares a nivel internacional (ISO, IEC, ANSI, entre otros) muchos de estos tomaron como referencia a la industria aeroespacial y automotriz.

La cuarta acción tiene como finalidad implementar programas de desarrollo de proveedores nacionales, el cual debe incluir procesos de habilitación de proveedores nacionales (fortalecimiento o creación de nuevos proveedores) con las competencias requeridas para el soporte de la industria eólica. Este programa debe considerar estrategias para la transferencia y asimilación de tecnologías estableciendo posibles alianzas con empresas líderes. En esta acción pudiera tener una participación relevante la ColDT+i para el proceso de transferencia y asimilación de tecnología.

La quinta acción está relacionada con el establecimiento de políticas públicas que incentiven apoyos a proveedores y fabricantes nacionales de componentes eólicos, promoviendo certificaciones, capacitación y programas de investigación y desarrollo que sustenten el fortalecimiento de la industria eólica en el país.

Por último, para apoyar la creación, crecimiento o la reconversión de proveedores de bienes y servicios nacionales se deben generar instrumentos de financiamiento adecuados a la industria eólica.

Las tres primeras acciones se ejecutarán en paralelo con una duración de dos años, posteriormente se realizarán las tres últimas acciones en paralelo con una duración estimada de tres años.

Los actores que deberán participar para la atención de este reto son la SENER, SE, CFE, SHCP, ColDT+i, Industria y Asociaciones. Se estima que los primeros resultados de estas actividades se obtengan en seis años, sin embargo tienen un carácter permanente.

IIc. Recursos Humanos

De acuerdo a datos de la SENER, con la implementación de la reforma energética se requerirán en el país aproximadamente 135,000 especialistas de alto nivel en distintas áreas relacionadas con energía renovable y eficiencia energética.

Ante este reto, en los últimos años se han puesto en marcha mecanismos orientados a impulsar la preparación de recursos humanos en estos temas tanto a nivel técnico como profesional. En este sentido, el Gobierno Federal ha implementado diversos programas, tales como el “Programa Estratégico de Formación de Recursos Humanos en Materia Energética”, impulsado por SENER, SEP y CONACYT, el cual tiene el objetivo de fomentar la oferta de programas de adiestramiento y certificación de competencias conjuntamente con el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (CONOCER).

Adicionalmente, la SENER ha impulsado la creación del Comité de Gestión por Competencias de Energía Renovable y Eficiencia Energética (CGCEREE), cuyo objetivo es generar capital humano calificado en energía renovable y eficiencia energética, mediante el desarrollo de estándares de competencia (EC) y la certificación del personal técnico.

Particularmente en lo que respecta a energía eólica, se cuenta con el estándar de competencia denominado “Mantenimiento al aerogenerador”; y existe la Norma Oficial Mexicana (NOM-009-STPS-2011) denominada “Condiciones de seguridad para realizar trabajos en altura”.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Uno de los requerimientos principales de la industria en el corto plazo, es contar con personal especializado para participar en las diferentes etapas que involucran el desarrollo de los parques eólicos, por otra parte, se requiere mano de obra competente para la operación y mantenimiento de las centrales.

Por lo anterior, se plantea como acción habilitadora para superar esta barrera de recursos humanos, la formación de especialistas competentes (capacitados y certificados) para diseñar, instalar, operar y dar mantenimiento a las centrales eólicas.

IMAGEN 11. CENTRO DE CAPACITACIÓN UNISTMO



Fuente: CEMIE-Eólico

a) Formar especialistas competentes (capacitados y certificados) para diseñar, instalar, operar y dar mantenimiento a las centrales eólicas.

Una de las problemáticas que se visualiza para la industria eólica nacional es la insuficiencia en el número de especialistas competentes y capacitados para participar en las diferentes etapas de la cadena de valor de los proyectos eólicos (diseño, instalación, operación y mantenimiento). Ante el crecimiento de la industria eólica en el país, se requerirá de una mayor cantidad de mano de obra acreditada para efectuar trabajos técnicos y especializados, por lo que es importante plantear estrategias de formación de personal.

Para el sector de energía eólica se requieren especialistas competentes en áreas tales como ingeniería eléctrica, mecánica y civil. Asimismo, se requieren de especialistas en supervisión, apoyo logístico y operativo.

Las actividades sugeridas para desarrollar la acción habilitadora para mitigar esta barrera se describen a continuación:

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2024

Actividad sugerida	Tiempo estimado para su solución	Principales actores involucrados
Diagnosticar los requerimientos en recursos humanos en los procesos de diseño, operación, mantenimiento y monitoreo.	24 meses	SENER, SE, CoIDT+i, Industria, Asociaciones
Diseñar programas de desarrollo tanto a nivel técnico como profesional.	12 meses	SENER, SEP, Industria, CoIDT+i
Establecer nuevos centros de capacitación eólica.	24 meses (permanente)	SENER, SEP, CONACYT, Industria, CoIDT+i
Implementar los programas de desarrollo tanto a nivel técnico como profesional.	12 - 48 meses	SENER, SEP, CONACYT, Industria, CoIDT+i
Evaluar y actualizar periódicamente los programas de desarrollo.	12 meses (permanente)	SENER, SEP, CONACYT, CoIDT+i, Industria, Asociaciones

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Para implementar esta acción habilitadora se proponen cinco actividades, la primera consiste en realizar un diagnóstico de necesidades de desarrollo y actualización de recursos humanos para los procesos de diseño, operación y mantenimiento de centrales eólicas.

La segunda actividad tiene el objetivo de diseñar programas de formación y actualización de personal a nivel técnico y profesional. Estos programas deben considerar el empleo de herramientas de apoyo como son simuladores y guías de buenas prácticas. Asimismo, se deben incluir acciones tendientes a la atracción de jóvenes.

Una de las estrategias para contar en el corto tiempo con personal competente, es dar impulso a la creación de estándares de competencia en áreas clave de la cadena de valor de proyectos eólicos, por lo que se deben fortalecer las capacidades nacionales para certificar al personal.

La tercera actividad, está relacionada con la necesidad de ampliar la infraestructura para la capacitación especializada en energía eólica. En este sentido se considera relevante desarrollar más centros de capacitación para mantenimiento de aerogeneradores. Actualmente solo se tiene un centro de este tipo en el campus Juchitán, de la Universidad del Istmo y se requiere fortalecer las capacidades en el mantenimiento de aerogeneradores.

La cuarta actividad está enfocada en la puesta en marcha de los programas de desarrollo y certificación de personal en áreas clave de la cadena de valor de proyectos eólicos. Para lo cual, es imprescindible contar con la infraestructura y tecnología educativa adecuada para estos programas.

Por último, la quinta actividad consiste en efectuar evaluaciones de la efectividad de los programas de desarrollo y certificación con el objetivo de mantenerlos actualizados y acorde a las necesidades nacionales.

Las tres primeras actividades se realizan en paralelo con una duración de dos años, posteriormente la cuarta y quinta actividad se ejecutan de manera paralela en un máximo de cuatro años. Entre los actores principales para llevar a cabo estas actividades se encuentran

SENER, SE, SEP, CONACYT, la Industria, Asociaciones y la ColDT+i.

Se estima que en cuatro años se pueden obtener los primeros resultados (certificación de personal en áreas clave); cabe hacer mención que los programas de desarrollo deben ser actualizados y mejorados periódicamente, en este sentido las actividades son permanentes.

IId. Ámbito Social

Actualmente, uno de los problemas sociales de México que puede desalentar el crecimiento de la industria, es la inseguridad provocada por la delincuencia organizada en algunas regiones del país en donde se ubican parques eólicos. Esta situación es una de las principales preocupaciones de las empresas que participan en el sector eólico, debido a que el personal debe laborar en horarios restringidos, lo que repercute en costos adicionales durante la construcción y operación de la central.

Para mitigar la problemática anterior, se han implementado estrategias conjuntas entre los gobiernos de los estados y los propietarios de los parques eólicos, para asegurar la integridad del personal que participa en la construcción, operación y mantenimiento del parque, así como el de las instalaciones y equipos. La solución a esta problemática sale del ámbito del presente mapa de ruta y deberá ser atendida por otras instancias y en otros foros.

Otra de las barreras identificadas en el ámbito social, es el potencial conflicto de intereses entre desarrolladores y comunidades indígenas. La ley de la industria eléctrica establece la obligación de efectuar las Evaluaciones de Impacto Social (SENER, 2017b) para identificar los posibles impactos de un desarrollo eólico hacia las comunidades indígenas y por consiguiente, definir acciones de mitigación y gestión social. Sin embargo, a la fecha las empresas desarrolladoras no cuentan con una guía metodológica que les indique la forma de llevar a cabo estas evaluaciones por lo que cada empresa las efectúa de diferente manera.

El problema que se genera al no contar con criterios homologados para efectuar estas evaluaciones con la visión y profundidad que se requiere para hacer un diagnóstico efectivo del impacto social, es la posible definición de acciones

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

de mitigación con un bajo valor para la comunidad. Otra problemática, es la percepción que se tiene de que las EVIS son efectuadas solo para cubrir un requisito de la gestión del proyecto.

Considerando la problemática anterior, se propone la siguiente acción habilitadora para superar esta barrera de tipo social:

- Definir los criterios de evaluación y los mecanismos de seguimiento del impacto social adecuados a las condiciones nacionales.

A continuación se describe la acción habilitadora y las actividades sugeridas para atenderla:

IMAGEN 12. ECOSISTEMAS Y LOS PARQUES EÓLICOS EN OAXACA



Fuente: CEMIE-Eólico

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

a) Definir los criterios de evaluación y los mecanismos de seguimiento del impacto social adecuados a las condiciones nacionales.

A raíz de la reforma energética se estableció la obligación de realizar las Evaluaciones de Impacto Social (EVIS) en todos los proyectos del sector energético. El propósito de las EVIS es conocer los posibles impactos de la implementación de proyectos de la industria eléctrica de tal manera que se puedan proponer soluciones adecuadas para la mitigación y gestión social.

Una problemática para realizar las evaluaciones de impacto social es que no se cuenta con una metodología estándar en México para llevarlas a

cabo, por lo que las empresas aplican protocolos internacionales.

Es importante mencionar que actualmente la SENER cuenta con un anteproyecto en proceso de revisión denominado “Disposiciones administrativas de carácter general sobre la evaluación de impacto social en el sector energético”, en el cual se establecen los lineamientos y los criterios para efectuar la evaluación del impacto social.

Las actividades sugeridas para desarrollar la acción habilitadora se describen a continuación:

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2020

Actividad sugerida	Tiempo estimado para su solución	Principales actores involucrados
Revisar y homologar criterios de evaluación del impacto social.	12 meses	SENER, SEGOB, gobierno estatal y municipal, CDI.
Emitir de manera oficial las disposiciones y/o procedimientos de evaluación del impacto social.	12 meses	SENER, SEGOB, gobierno estatal y municipal, CDI.
Dar seguimiento a los planes de mitigación contemplados en las evaluaciones de impacto social.	Permanente	SENER, SEGOB, gobierno estatal y municipal, CDI, Industria.

Para implementar esta acción se definieron tres actividades, la primera requiere la coordinación de todas las instituciones involucradas en el proceso de evaluación del impacto social para que se homologuen los criterios de evaluación del impacto social.

La segunda actividad tiene como objetivo emitir de forma oficial las disposiciones y procedimientos de impacto social, incluyendo las disposiciones para realizar la consulta indígena.

La tercera actividad establece la implementación de un mecanismo para dar seguimiento a los planes de gestión social que resulten de las evaluaciones de impacto social, para ello, se debe definir al responsable del seguimiento.

La SENER, SEGOB, los gobiernos estatales y municipales, la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) y la Industria, son los actores clave involucrados en la homologación de los criterios para la atención del impacto social.

Las actividades que involucra esta acción habilitadora podrían iniciarse de manera inmediata y se espera obtener los primeros resultados en el corto plazo, es decir en 24 meses.

Finalmente, es importante comentar que si bien, en este reporte no se incluyen acciones habilitadoras de tipo medioambiental, sería muy importante considerar la realización de estudios sobre el “Análisis de Ciclo de Vida (Life Cycle Assesment)” en los proyectos eólicos. Estos

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

estudios deberán emplear como referencia las mejores prácticas internacionales para evaluar la sustentabilidad ambiental de manera más integral e identificar las etapas, procesos o tecnologías que representan un área de oportunidad para

mejorar el desempeño ambiental y energético a lo largo de su ciclo de vida (Santoyo-Castelazo, Gujba, & Azapagic, 2011; Santoyo-Castelazo, Stamford, & Azapagic, 2014; Santoyo-Castelazo & Azapagic, 2014).

IMAGEN 13. COMUNIDADES EN OAXACA, MÉXICO



Fuente: CEMIE-Eólico

III. Acciones de soporte

Como parte del proceso de identificación de retos tecnológicos surgieron otros temas relevantes que son compartidos con otras fuentes de energía renovable, nos referimos a la red nacional de transmisión, la red general de distribución y al almacenamiento de energía.

Para lograr cumplir con la meta nacional al 2024, donde el 35% de la electricidad que se genere, deberá provenir de fuentes limpias, se requiere de una mejora sustancial de las capacidades de la red nacional de transmisión y de la red general de distribución; sobre todo en las zonas de alto potencial de energía limpia. La baja densidad de la red de transmisión es una de las principales problemáticas que afronta el sector eléctrico nacional y particularmente el sector eólico, en la actualidad la planeación de la expansión de la red de transmisión se realiza en porcentajes menores al crecimiento esperado de la demanda de electricidad en el país.

Por otra parte, una de las opciones tecnológicas para reducir la intermitencia en la generación eléctrica de las energías renovables, son los sistemas de almacenamiento de energía. Sin embargo, en la actualidad esta alternativa eleva los costos de generación, por lo que es necesario desarrollar sistemas de almacenamiento de mayor capacidad y eficiencia; y mejor rentabilidad.

Las acciones que a continuación se describen son planteadas de manera exploratoria, y desde la perspectiva del sector eólico, su solución integral deberá generarse en ejercicios posteriores con la participación de otros actores relacionados con temas de energía solar fotovoltaica, del océano y redes eléctricas inteligentes, así como con integrantes de organismos reguladores: CENACE, CRE y SENER.

A continuación se describen las acciones de soporte sugeridas para atender estos dos temas.

IIIa. Incorporar mejoras en la planeación de la red nacional de transmisión y de la red general de distribución

Como parte de la reforma energética se han generado diversas normativas e instrumentos para la planeación de la ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión (RNT) y de las Redes Generales de Distribución (RGD). En este sentido, el CENACE tiene la facultad de proponer la ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y de los elementos de las Redes Generales de Distribución que correspondan al Mercado Eléctrico Mayorista, por lo que cada año ejecuta un proceso para definir el programa de ampliación y modernización de la RNT.

Sin embargo, el proceso de planeación actualmente establece una expansión de la red de transmisión a tasas anuales promedio, menores al crecimiento esperado de la demanda de electricidad en el país. De las distintas zonas que cuentan con un alto potencial eólico, muchas no tienen la infraestructura necesaria para la evacuación de la energía. Lo mismo sucede en los casos de otras energías renovables como son la solar fotovoltaica.

Para resolver esta problemática, el gobierno a través de la CRE, el CENACE y SENER, ha efectuado desde hace tiempo una serie de iniciativas para impulsar el desarrollo de infraestructura de transmisión, que si bien han sido un paso importante en la solución de este problema, no ha logrado resolverlo por completo.

Como parte de estas acciones se considera muy relevante incluir de manera activa la participación de los desarrolladores del sector eléctrico, con la finalidad de que aporten sus experiencias y necesidades para la mejora del programa anual de ampliación y modernización de la RNT de la infraestructura de red eléctrica.

A continuación se presentan las actividades sugeridas para la atención de esta acción de soporte, desde el punto de vista de la industria eólica:

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2020

Actividad sugerida	Período de atención	Participantes clave
Difundir información de las capacidades disponibles de la red y los mapas del potencial de energías limpias, así como de los mecanismos para la planeación y modernización de la Red Nacional de Transmisión (RNT) y Red General de Distribución (RGD).	12 meses	SENER, CRE, CFE, Industria, Asociaciones, CENACE, CoIDT+i
Realizar mesas de trabajo entre los desarrolladores y la SENER-CENACE para identificar áreas de mejora que puedan ser incluidas en la planeación de la RNT y RGD.	12 meses	SENER, CRE, CFE, Industria, Asociaciones, CENACE, CoIDT+i

Para atender esta acción de soporte se identificaron dos actividades, la primera está orientada a la difusión de información técnica de la red eléctrica, así como de los mecanismos de participación para la modernización de la RNT y RGD.

Cabe hacer mención que esta difusión debe estar dirigida a los desarrolladores y entidades de gobierno interesados en mejorar las capacidades de la red eléctrica.

Dentro de la información técnica a difundir, se encuentra el diagnóstico de las capacidades disponibles de la red y los mapas del potencial de energías renovables, con la finalidad proporcionar información que sirva de insumo para efectuar una planeación integral hacia las zonas de mayor conveniencia.

La segunda actividad tiene el objetivo de identificar las áreas críticas y en función de estas plantear propuestas de mejora de la RNT y RGD, para el corto, mediano y largo plazo. Un mecanismo sugerido para llevar a efecto esta actividad es mediante mesas de trabajo multidisciplinarias donde se puedan plantear las problemáticas y discutir las alternativas de solución desde diferentes perspectivas.

Al respecto, es importante fortalecer la vinculación de los desarrolladores con la SENER y el CENACE, a fin de que se aporten las experiencias y necesidades para la mejora del programa anual de ampliación y modernización de la RNT de la infraestructura de red eléctrica.

Las actividades pueden ser ejecutadas de manera paralela y se esperan obtener los primeros resultados en el corto plazo, es decir en un año. Posteriormente, se hará una evaluación anual en base a las necesidades del PRODESEN vigente.

Los actores principales para la solución del reto son SENER, CENACE, CRE, CFE, CoIDT+i, Asociaciones y los desarrolladores de parques eólicos.

IMAGEN 14. ÁREA DE CONTROL ORIENTAL CENACE



Fuente: <https://es.foursquare.com/v/area-de-control-oriental-cenace/504a5474e4b06b3020cccbe1?openPhotoid=546f5846498e09d8583b5dcd>

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

IIIb. Desarrollar sistemas de almacenamiento de energía eficientes y de bajo costo

Una de las características de la energía eólica, es su dependencia climatológica para la generación de electricidad, por lo que es considerada una fuente de energía intermitente. Sin un medio de almacenamiento adecuado, una red eléctrica no puede gestionar el problema de la intermitencia de generación de las renovables.

Las acciones de soporte establecidas para mitigar la intermitencia es la implementación de sistemas de almacenamiento, lo cual puede incluir la adquisición, adaptación o desarrollo de tecnología.

A continuación se presentan las actividades sugeridas para atender esta acción considerada de soporte para fortalecer el crecimiento de la industria eólica:

Fecha de Inicio: 2018

Fecha de término: 2025

Actividades sugeridas	Periodo de atención	Participantes clave
Elaborar un diagnóstico y estudios sobre el estado de la tecnología de sistemas de almacenamiento de energía a nivel nacional e internacional.	12 meses	SENER, CoIDT+i, FSE y CONACYT
Elaborar plan de innovación de tecnología de sistemas de almacenamiento de energía adecuados a los requerimientos de la industria eólica del país.	12 meses	SENER, CoIDT+i, Industria, CFE, AMDEE, FSE, CONACYT
Ejecutar proyectos de adquisición, desarrollo y escalamiento de tecnologías de almacenamiento de energía apropiados a sistemas eólicos.	24 a 36 meses	SENER, CoIDT+i, FSE, Industria, CFE, AMDEE, CONACYT
Ejecutar proyectos de transferencia de tecnología para implementar tecnologías a nivel industrial.	24 a 36 meses	SENER, CoIDT+i, FSE, Industria, CFE, AMDEE, CONACYT
Dar seguimiento a planes de innovación de tecnología de sistemas de almacenamiento de energía.	24 a 36 meses	SENER, FSE, Industria, CFE, AMDEE, CoIDT+i, CONACYT

Para efectuar lo anterior, se plantearon cinco actividades generales que posteriormente deberán ser discutidas en foros multidisciplinarios en relación a este tema.

La primera actividad consiste en elaborar un diagnóstico del estado de madurez de la tecnología disponible a nivel nacional e internacional sobre el tema de almacenamiento de energía. Con base en este diagnóstico, evaluar y seleccionar sistemas de almacenamiento adecuados a los requerimientos y condiciones del país.

La segunda actividad se orienta a realizar un plan de innovación tecnológica en sistemas de almacenamiento de energía. Este plan puede considerar la adquisición, la asimilación, el

desarrollo, la optimización o el escalamiento de tecnologías.

La tercera actividad consiste en ejecutar proyectos de adquisición, desarrollo y escalamiento de tecnologías de almacenamiento de energía apropiados a sistemas eólicos. Las soluciones tecnológicas a desarrollar deben aplicarse a nivel comercial, por lo tanto, también deben ser competitivas a nivel mundial.

Es importante mencionar que esta actividad considera la implementación de un sistema tipo "stage-gate" (etapas y compuertas de evaluación), en donde cada proyecto que se realice debe contener hitos que deberán ser evaluados por un comité de innovación para determinar su continuidad en la siguiente fase.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

Una vez desarrollada la tecnología de almacenamiento, será necesario transferirla a la industria. La cuarta actividad está enfocada en el proceso de transferencia, el cual implicará en primera instancia el posible desarrollo de empresas nacionales y por otra parte, establecer convenios de colaboración para implementar este proceso.

Finalmente, se propone una actividad de seguimiento y control de los planes y proyectos de innovación que permita cuantificar los beneficios logrados con criterios homologados y establecer mecanismos de mejora después de evaluar el desempeño de tecnologías.

Las actividades se ejecutan de forma secuencial, excepto la actividad cinco, la cual es paralela a las actividades. Se estima se obtengan los primeros resultados en menos de seis años. La estrategia general para ejecutar estas actividades es con recursos disponibles a nivel nacional, así como alianzas de colaboración con entidades líderes del sector a nivel internacional.

Los actores principales para llevar a cabo estas actividades son la SENER, FSE, CFE, AMDEE, CONACYT, Industria y la CoIDT+i.

IMAGEN 15. CONSTRUCCIÓN DE UN PARQUE EÓLICO EN SONORA. AGOSTO DE 2013



Fuente: <https://www.ewind.com/2013/08/27/eolica-en-mexico-primera-piedra-de-parque-eolico-en-sonora/>

Desarrollo de otras alternativas de la energía eólica

Las metas de capacidad instalada que se han visualizado en este mapa de ruta para la generación de electricidad mediante energía eólica, consideran únicamente a centrales eólicas en tierra; sin embargo, existen otras alternativas de aprovechamiento de esta energía que se visualizan podrían tener un impacto importante en la matriz energética en el largo plazo, como es el caso de la generación distribuida y la energía eólica marina.

A continuación se describe de manera general, la perspectiva que se tiene sobre estas dos aplicaciones en México.

Generación distribuida

La tendencia en los últimos años a nivel mundial, ha sido la instalación de aerogeneradores de gran dimensión, sin embargo, otra alternativa para aprovechar el recurso eólico es mediante aerogeneradores pequeños y medianos que pueden tener aplicación a nivel industrial y residencial.

Actualmente, el costo de las pequeñas turbinas eólicas (SWT por sus siglas en inglés) sigue siendo el factor más influyente para el despliegue de esta tecnología.

La implementación de aerogeneradores de pequeña y mediana escala, deberá considerar la percepción social a nivel urbano así como garantizar las cuestiones de salud y seguridad en torno a la tecnología y la calidad de vida. Actualmente, uno de los retos tecnológicos es la disminución del ruido generado por las cajas de cambio y partes de transmisión de energía eléctrica, lo cual plantea un problema ambiental con la comunidad. La vibración es otro factor por abordar en los equipos de trabajo, debido al impacto que pueden tener dependiendo de la ubicación donde se instala el dispositivo (Small Wind Innovative Project, 2017).

Por otra parte, la generación distribuida tiene la ventaja de presentar menores costos de transporte de energía, debido a que generalmente, su producción se encuentra más cerca de los puntos de consumo.

En México, actualmente no se genera electricidad a través de generación distribuida usando la energía eólica, a pesar de que existe un potencial importante para su aprovechamiento.

Algunas empresas ya están visualizando este mercado, e incluso existen propuestas para el desarrollo e implementación de aerogeneradores pequeños de mediana potencia (0.5 MW a 3 MW); principalmente orientados al sector industrial y para zonas que se encuentran aisladas.

Como se ha comentado, es necesario superar diversos retos encaminados a modificar la tecnología para disminuir la contaminación sonora y las alteraciones visuales inherentes a los sistemas eólicos así como disminuir el tamaño de los aerogeneradores.

También se observa la necesidad de realizar estudios para evaluar el potencial a nivel micro escala, los cuales deberán ser incluidos en los atlas de potencial actuales. Ciertamente, en estas acciones se observan oportunidades para generar tecnología nacional, pero para ello será importante conjuntar esfuerzos entre la ColDT+i y la industria.

Es importante señalar que la energía eólica deberá desarrollar ventajas competitivas en diferentes ámbitos, para poder mostrarse como una opción atractiva para el inversionista y usuario final, para competir en el mercado de la generación distribuida, donde la energía solar fotovoltaica se está consolidando en un amplio segmento de dicho mercado.

Energía eólica marina

La obtención de energía a partir de dispositivos eólicos marinos, ha cobrado relevancia en los últimos años, sobre todo en países europeos donde actualmente se realiza investigación para mejorar la eficiencia y capacidad de generación eléctrica.

El recurso eólico marino, es superior, más constante y con menos turbulencias que el de tierra, con factores de capacidad de alrededor del 40%. Por otra parte, de acuerdo a la Asociación de Energía Eólica Marina de la Unión Europea (European Wind Energy Association, 2016), se estima que Europa tendrá una capacidad

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

instalada de 40 GW en 2020 y de 150 GW para el 2030.

En la actualidad, los costos de la energía eólica marina están bajando drásticamente debido a las innovaciones tecnológicas de diversas firmas europeas, ejemplo de ello es la compañía VESTAS que actualmente está desarrollando aerogeneradores de 8 MW, lo cual contribuirá a la reducción de costos al tener parques con menos aerogeneradores y mayor capacidad. Se visualiza que en los próximos diez años se reducirán los costos de este tipo de tecnología en un 27% respecto a los niveles actuales.

De acuerdo a datos de la compañía Siemens, el Reino Unido es líder mundial en energía eólica marina, con cerca de 5.1 GW (SIEMENS, 2016) ya instalados. Por otra parte, la industria eólica de ese país ha generado 13,000 empleos directos e indirectos y se espera que para el 2020 se triplique esta cantidad.

Es importante resaltar que la tecnología eólica marina está evolucionando y uno de los objetivos para el 2020 es lograr que el costo de producción sea de 118 dólares por MWh (Offshore Wind Programme Board, 2015). El cual, comparado con los recientes resultados de las subastas eléctricas en México, duplica los costos de producción.

Los retos de la tecnología eólica marina están determinados por la ubicación del recurso, la profundidad, el tipo de terreno y el ambiente marino. Asimismo, existen otros retos relacionados con el tipo de turbina y cimentación, eficiencia de la instalación y logística.

Por otra parte, los países que han implementado este tipo de tecnología han generado regulaciones eficientes en relación a la planeación

y permisos, esquemas de apoyo y los plazos de atención de los trámites. Asimismo, los países más desarrollados en esta tecnología, están fortaleciendo las cadenas de suministro local.

El tema eólico marino fue analizado de manera exploratoria por el grupo de trabajo de este mapa de ruta coincidiendo en que el desarrollo eólico en tierra será prioritario para México al menos hasta el 2030; no obstante, se considera importante dar inicio a una estrategia para la generación de capacidades, principalmente en lo que respecta a la formación de recursos humanos, a fin de disponer en el mediano plazo con una masa crítica de especialistas que apoyen en el despliegue y adaptación de los dispositivos existentes a nivel comercial para la generación de electricidad a partir de energía eólica marina.

La estrategia a seguir deberá considerar la colaboración con entidades extranjeras líderes en estos temas.

En este sentido, México a través de especialistas del CEMIE-Eólico participa en la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) colaborando en programas tecnológicos del sector eólico, lo cual permite a especialistas mantenerse en el estado del arte respecto a los desarrollos del sector eólico marino.

Uno de los argumentos más importantes que sustenta esta estrategia, se relacionan con el potencial de aprovechamiento de esta energía en tierra, ya que de acuerdo al Atlas Nacional de Zonas con Alto Potencial de Energías Limpias (SENER, 2017a) desarrollado por la SENER, se tienen identificadas zonas con alto potencial eólico de alrededor de 158 GW, lo anterior confirma el enfoque de continuar con la tecnología eólica terrestre al 2030.

IMAGEN 16. PARQUE EÓLICO MARINO EN AGUAS BRITÁNICAS



Fuente: <https://www.renovablesverdes.com/un-nuevo-parque-eolico-marino-en-aguas-britanicas-promovido-por-iberdrola/>

Diagrama

El Mapa de Ruta es una herramienta gráfica que permite visualizar las acciones por realizar en el corto, mediano y largo plazo para alcanzar las metas y objetivos establecidos.

En particular, el mapa de ruta de energía eólica, está compuesto por una serie de capas que relacionan la visión, metas, impulsores principales, acciones estratégicas, habilitadoras y de soporte que son necesarias para incrementar el empleo de esta energía, en un horizonte de tiempo que va de 2018 a 2030. Para este caso, los plazos se definen de la siguiente forma: corto de 2018 a 2020; mediano de 2020 a 2024 y largo del 2024 al 2030.

El esquema inicia con la visión al 2030, misma que se ubica en la parte superior, a continuación se muestran las metas de energía eólica que se consideran factibles de lograr para los años 2024 y 2030, así como los principales impulsores de su desarrollo.

La siguiente capa presenta las acciones consideradas estratégicas para el fortalecimiento de la industria eólica en México. Estas acciones tienen correspondencia con los retos del ámbito tecnológico y en general, están orientados a resolver problemáticas operativas de las centrales eólicas en tierra, que permitan reducir los costos de operación.

En la capa siguiente, se encuentran las acciones habilitadoras del ámbito regulatorio, económico, social y de recursos humanos, que se deben llevar a cabo para mitigar las barreras identificadas que limitan el fortalecimiento de la industria. Estas acciones reflejan la necesidad de atender aspectos como la normatividad para negociar contratos de arrendamiento de tierras, ineficiencias en el proceso de obtención de permisos y licencias, la falta de personal especializado y la alta dependencia del extranjero para el suministro de los bienes y servicios que demanda la industria.

En la última capa, se encuentran las acciones denominadas de soporte para el crecimiento de la industria, las cuales corresponden a retos que son comunes a otras energías renovables, entre estas, la energía solar fotovoltaica, energía del océano y redes eléctricas inteligentes. Estas acciones están relacionadas con el almacenamiento de energía y la expansión de la infraestructura de transmisión y distribución de la energía eléctrica del país.

Por último, es importante mencionar que en algunos casos, los nombres de las acciones tanto estratégicas como habilitadoras fueron resumidos en el diagrama del mapa de ruta para facilitar su lectura y visualización.

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

Anexo a este reporte se incluye el diagrama.

Conclusiones y siguientes acciones

México es uno de los mejores sitios para la generación de electricidad a partir de la fuerza del viento, a nivel mundial es reconocido por su alto potencial. Actualmente, en nuestro país se está dando un fuerte impulso al desarrollo de las energías limpias con la finalidad de diversificar la matriz energética y cumplir los compromisos internacionales asumidos por el Gobierno Federal para la reducción de emisiones.

La generación de electricidad mediante energía eólica, ha tenido un crecimiento importante a partir del 2012 y su evolución se ha mantenido constante. Derivado de este crecimiento, la energía eólica se ubica actualmente como la segunda fuente de energía renovable con mayor demanda en el país, esto de acuerdo con los resultados de la segunda subasta eléctrica. El alto nivel de competitividad que representa la energía eólica, ha incrementado el número de proyectos por parte del sector privado.

Con base en lo anterior, se estima que la industria demandará en los próximos años servicios técnicos especializados para el diseño, ingeniería, procura y construcción de centrales eólicas, recursos humanos, procesos de manufactura, entre otros. Actualmente, la industria eólica nacional tiene una fuerte dependencia tecnológica del extranjero, sin embargo, nuestro país tiene las capacidades potenciales para soportar su crecimiento.

En este sentido, el mapa de ruta tecnológica de energía eólica en tierra, identifica las principales acciones estratégicas y habilitadoras para generar y fortalecer las capacidades tecnológicas requeridas para dar soporte al desarrollo esperado de la industria.

En este mapa de ruta se considera viable al 2030, disponer de una capacidad instalada de 21 GW para generar electricidad a través de la energía eólica en tierra. Dicha meta es superior en un 30%, a la estimada en el PRODESEN 2017-2031. La factibilidad de alcanzar la meta establecida, depende en gran medida del crecimiento del mercado y de la continuidad de las políticas públicas que actualmente se tienen para impulsar la generación de electricidad mediante el empleo de fuentes limpias. Adicionalmente, se considera un factor clave para alcanzar esta visión, la

expansión de las redes de transmisión en áreas con alto potencial eólico.

Las acciones estratégicas que se plantean en este mapa de ruta, fueron definidas de acuerdo a las etapas del proceso general de desarrollo de proyectos eólicos en tierra, que considera las etapas de diseño y fabricación de componentes, planeación, construcción, instalación, operación y mantenimiento.

Para el corto plazo, se identifican mayores oportunidades para implementar soluciones tecnológicas durante las fases de operación y mantenimiento enfocadas en la reducción de costos, incrementando la rentabilidad de la industria. En el mediano y largo plazo, se plantean una serie de acciones denominadas de soporte, cuya ejecución proporcionará beneficios a distintas industrias, entre ellas la eólica. Estas acciones se relacionan con el almacenamiento de energía y la expansión de la red nacional de transmisión y distribución.

En el mapa de ruta también se especificaron acciones habilitadoras del ámbito regulatorio, económico, social y de recursos humanos, con el objetivo de mitigar las barreras que limitan el crecimiento de la industria.

Entre las acciones habilitadoras de tipo regulatorio, se plantea la necesidad de mejorar el proceso de gestión para la autorización de proyectos eólicos y fortalecer la regulación para el arrendamiento de tierras.

En el ámbito económico, se considera muy importante desarrollar las cadenas de suministro nacionales para la fabricación de componentes y prestación de servicios técnicos especializados para proyectos eólicos, esta acción permitirá incrementar la participación de las empresas mexicanas en un mayor número de actividades de las diferentes etapas de la cadena de valor de los proyectos eólicos.

Respecto al recurso humano, se precisa una acción habilitadora que permita continuar con el desarrollo y certificación de especialistas para diseñar, instalar, operar y dar mantenimiento a las centrales eólicas, así como el fortalecimiento de la infraestructura existente para capacitación.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

En el aspecto social, es necesario definir los criterios de evaluación y los mecanismos de seguimiento del impacto social, adecuados a las condiciones nacionales. En este mismo rubro, se identificó otra problemática que preocupa a las empresas que participan en el sector eólico y que puede desalentar el crecimiento de la industria, esta tiene que ver con la inseguridad provocada por la delincuencia organizada en algunas regiones del país en donde se ubican parques eólicos. Para mitigar esta problemática, se han implementado estrategias conjuntas entre los gobiernos de los estados y los propietarios de los parques eólicos, para asegurar la integridad del personal que participa en la construcción, operación y mantenimiento del parque, así como el de las instalaciones y equipos. No obstante, la solución integral a esta problemática deberá ser atendida por otras instancias.

En lo que respecta a los actores clave en la implementación de las acciones estratégicas y habilitadoras que se proponen, se identificaron tres grupos relevantes; por una parte los organismos del gobierno integrados principalmente por SENER, CRE, SE, CENACE, SEMARNAT y CONACYT; cuyas principales tareas están relacionadas con la regulación del sector, implementación de mecanismos que incentiven el desarrollo de la industria y el financiamiento para fortalecer las capacidades tecnológicas del país.

En un segundo grupo se encuentra la Comunidad de investigación, desarrollo tecnológico e innovación (CoIDT+i) que está integrada por las instituciones de educación superior, los centros de investigación y desarrollo tecnológico tanto públicos como privados del país, incluyendo al CEMIE- Eólico. El rol de esta comunidad es desarrollar actividades de investigación y desarrollo tecnológico, generar y fortalecer las capacidades tecnológicas para soportar las necesidades de la industria. En este sentido el CEMIE-Eólico es esencial en la formación de recursos humanos especializados, la coordinación y ejecución de acciones y proyectos cuyos resultados sean de valor para la competitividad del sector industrial.

En el tercer grupo se encuentra la industria, integrada principalmente por desarrolladores, proveedores, empresas de servicios, operadores y asociaciones; entre las actividades que se espera que realice este grupo se encuentran: invertir en

el sector, generar y comercializar electricidad, proveer insumos y servicios, generar empleos, así como contribuir en sinergias para aplicar las soluciones generadas por la comunidad de investigación y desarrollo tecnológico.

Si bien, las acciones sugeridas en este mapa de ruta señalan la participación de entidades pertenecientes a estos tres grupos, estas solo deben ser consideradas de manera indicativa para orientar la definición de políticas públicas, programas e iniciativas enfocadas a fortalecer las capacidades tecnológicas necesarias para dar soporte al desarrollo sustentable de la industria en el mediano y largo plazo, incluyendo infraestructura, recursos humanos especializados y servicios tecnológicos, entre otros.

Siguientes acciones

Los resultados que se presentan en este mapa de ruta tecnológica, responden a las condiciones prevalecientes del contexto en el que se desarrollaron los talleres. Por lo anterior, la vigencia y prioridad de algunas acciones podría haberse modificado o bien, pudieran ya estarse atendiendo.

El presente mapa de ruta establece una visión al 2030, que fue el punto de partida para identificar los principales retos tecnológicos, barreras y acciones necesarias en el corto, mediano y largo plazo, para lograr la generación de electricidad a partir de la energía eólica en el país. Dicha visión, se estableció considerando la información disponible y el estado actual de las capacidades tecnológicas existentes, y deberá ser actualizada periódicamente para adecuarse a los cambios que sucedan en el contexto tecnológico, regulatorio, económico, social y ambiental, tanto a nivel nacional como internacional.

La implementación de este mapa de ruta se espera se inicie en 2018, lo que requerirá un apoyo sustantivo del gobierno, en particular de la SENER, para difundir, impulsar y coordinar las acciones estratégicas definidas en el mismo.

Se requiere establecer un plan de implementación que considere ciclos de revisión y evaluación de resultados en forma anual. Estos ciclos deben considerar la evaluación de los resultados de los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico. Para estos ciclos de evaluación es

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

necesario desarrollar indicadores y criterios tanto para los proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación.

Adicionalmente, como parte del ciclo de evaluación se deben monitorear los resultados de las acciones habilitadoras y su impacto en relación al contexto económico, social, regulatorio y desarrollo de recursos humanos, para la ejecución de proyectos de energía eólica.

Finalmente, se recomienda que el mapa de ruta se actualice cada tres años, y que se implemente una estrategia de difusión para dar a conocer los resultados de esta iniciativa entre todas las instituciones involucradas en la realización de las acciones estratégicas y habilitadoras para lograr la visión establecida al año 2030.

Referencias bibliográficas

- AMDEE. (2017). *Asociación Mexicana de Energía Eólica*. Obtenido de <http://www.amdee.org/>
- Australian Government - Department of Industry, Tourism and Resources. (2001). *Technology Planning for Business Competitiveness: A Guide to Developing Technology Roadmaps*. Editor Industry, Science and Resources.
- CONOCER. (2017). *Consejo de Normalización y Certificación de Competencias Laborales*. Obtenido de Estándares de Competencia por Sector Productivo: <http://conocer.gob.mx/estandares-competencia-sector-productivo/>
- DOF. (11 de agosto de 2014). Ley de la Industria Eléctrica. *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF. (24 de diciembre de 2015). Ley de Transición Energética. *Diario Oficial de la Federación*.
- European Wind Energy Association. (2016). *The European offshore wind industry - key trends and statistics 2015*. EWEA.
- Global Wind Energy Council. (2016). *Global Wind Statistics*. Bélgica: GWEC.
- IEA. (2013). *Technology Roadmap Wind Energy*. París: IEA.
- IEA. (2014). *Energy Technology Roadmaps a guide to development and implementation*.
- IEA. (2014b). *How2Guide for Wind Energy Roadmap Development and Implementation*.
- IMP. (2011). *Guía técnica para el desarrollo de mapas de ruta tecnológica (MRT) - Caso PEMEX*. Ciudad de México.
- IMP. (2017). *Guía técnica para el desarrollo del mapa de ruta tecnológico de un sector industrial*. Ciudad de México.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2016). *Estudios de cadena de valor de tecnologías seleccionadas para apoyar la toma de decisiones en materia de mitigación en el sector de generación eléctrica y contribuir al desarrollo de tecnologías*. Ciudad de México: INECC.
- International Energy Agency. (2015). *IEA Wind TCP 2015*. París: IEA.
- Jenkins, J., Rhoads, H., Summerville, B., Baranowski, R., & Rife, B. (2016). *SMART Wind Roadmap*. Obtenido de <http://distributedwind.org/wp-content/uploads/2016/05/SMART-Wind-Roadmap.pdf>
- Offshore Wind Programme Board. (2015). *Annual Report March*. United Kingdom: OWPB.
- Phaal, R. (2001). *T-Plan the fast start to technology roadmapping. Planning your route to success*. Cambridge UK: University of Cambridge, Institute for Manufacturing.
- REN 21. (2017). *Renewables global futures report 2017*. París: REN21.
- Santoyo-Castelazo, E., & Azapagic, A. (2014). Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. *Journal of Cleaner Production*, 119-138.

MAPA DE RUTA TECNOLÓGICA ENERGÍA EÓLICA EN TIERRA

- Santoyo-Castelazo, E., Gujba, H., & Azapagic, A. (2011). Life Cycle Assessment of Electricity Generation in Mexico. *Energy*, 1488-1499.
- Santoyo-Castelazo, E., Stamford, L., & Azapagic, A. (2014). Environmental implications of decarbonising electricity supply in large economies: The case of Mexico. *Energy Conversion & Management*. 272-291.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). *SEMARNAT*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/mexico-cumplio-sus-objetivos-en-la-cop21-rafael-pacchiano>
- SENER. (2014). *Estrategia Nacional de Energía 2014-2028*. México.
- SENER. (2015). *Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030*. Ciudad de México: SENER. Recuperado el 04 de 01 de 2016, de http://www.gob.mx: http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44324/Prospectiva_Energ_as_Renovables_2015_-_2029_VF_22.12.15.pdf
- SENER. (2016a). *Comité de Gestión por Competencias de Energía Renovable y Eficiencia Energética*. Ciudad de México: SENER.
- SENER. (2017a). *Atlas de zonas con energías limpias AZEL*. Obtenido de <https://dgel.energia.gob.mx/AZEL/>
- SENER. (2017b). *Evaluación del impacto social, EVIS*. Obtenido de <https://www.gob.mx/tramites/ficha/evaluacion-de-impacto-social/SENER2561>
- SENER. (2017c). *Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE)*. Obtenido de <https://dgel.energia.gob.mx/inere/>
- SENER. (2017d). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2017-2031*. Ciudad de México: SENER.
- SENER. (2017e). *Taller para la planeación e implementación de parques eólicos*. Obtenido de <https://www.gob.mx/sener/documentos/taller-para-la-planeacion-e-implementacion-de-parques-eolicos>
- SENER. (2017f). *Reporte de avance de energías limpias 2016*. Ciudad de México: SENER.
- SENER-IMP. (2017a). *Reporte de Inteligencia Tecnológica en Energía Eólica en Tierra*. Ciudad de México: IMP.
- SENER-IMP. (2017b). *Diagnóstico Tecnológico del CEMIE-Eólico*. Ciudad de México.
- SENER-IMP. (2017c). *Cartera de Necesidades de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Energía Eólica*. Ciudad de México.
- SIEMENS. (2016). *Wind Power in the United Kingdom*. United Kingdom: SIEMENS.
- Small Wind Innovative Project. (2017). *Aesthetic noise and vibration*. Obtenido de http://swippproject.eu/?page_id=12073
- WWEA. (2017). *WWEA Half-year Report 2016*.

2017



SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

