

Reporte de Inteligencia Tecnológica

Energía Eólica en Tierra



2017

Información General del Proyecto

Número de proyecto IMP

F.61493. Mapas de Ruta Tecnológica para los Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIE's).

Jefa de Proyecto

M. en C. María Georgina Ortiz Gallardo.

Responsable del reporte

M. en A. César Andrés de la Fuente Melo.

Colaboradores

M. en A. Martha Beatriz Rodríguez Hidalgo.
Dr. Sebastián Madrigal Olán.

Diseño Editorial

Lic. Carlos Alberto Torres de Loera.

Información del Cliente

Entidad solicitante: Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética

M en I. Ernesto Gabriel Hernández Montoya.
Secretario Administrativo del Fondo Sectorial CONACYT – Secretaría de Energía- Sustentabilidad Energética.

Coordinador del Proyecto por parte de la Secretaría de Energía

Dr. Edgar Santoyo Castelazo.
Director de Innovación Tecnológica.

CONTENIDO

1	Introducción	8
1.1	Objetivo	8
1.2	Metodología general para realizar el reporte de inteligencia tecnológica.....	9
2	Generalidades	11
2.1	Componentes de un sistema eólico	12
2.2	Etapas del desarrollo de un proyecto eólico	17
3	Entorno internacional	20
3.1	Tendencias tecnológicas	22
4	La Energía Eólica en México.....	26
4.1	Capacidad instalada	28
4.2	Proyectos eólicos en operación	30
4.3	Prospectiva de la energía eólica.....	32
4.4	Actores clave de la industria	34
4.5	Marco regulatorio.....	39
4.6	Estado de desarrollo de la cadena de suministro en México	40
4.7	Necesidades de talento humano en la industria eólica	43
5	Retos tecnológicos y barreras	47
5.1	Retos tecnológicos.....	47
5.2	Barreras	49
6	Estado actual de la investigación y desarrollo tecnológico	51
6.1	Operación y mantenimiento de plantas eólicas	51
6.2	Sistemas de información para la operación de plantas eólicas	56
6.3	Evacuación de energía en plantas eólicas	64
	Referencias.....	69

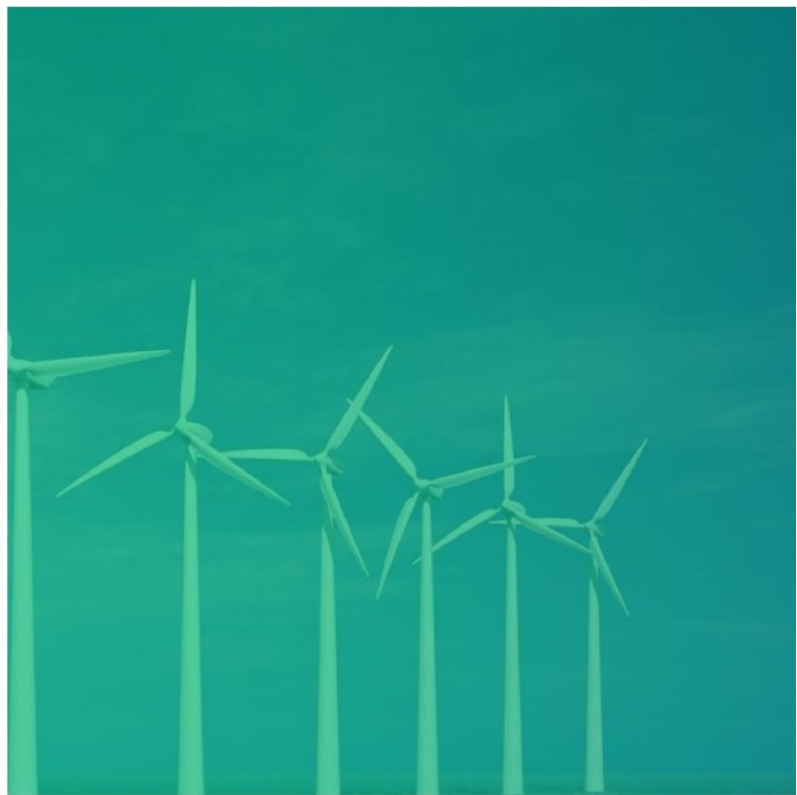
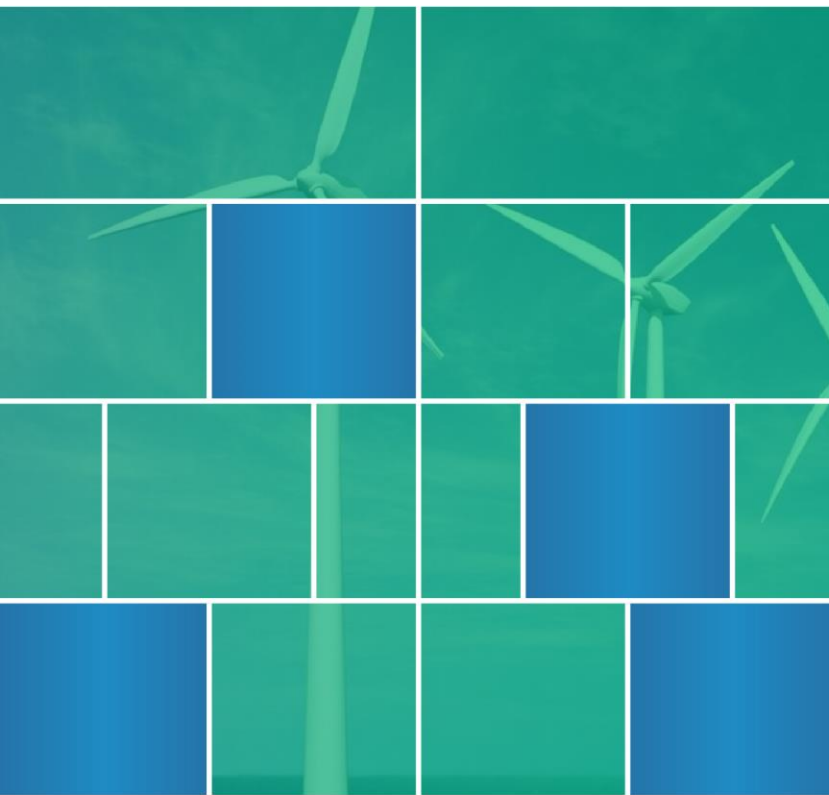
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso metodológico para realizar el Reporte de Inteligencia Tecnológica	9
Figura 2. Elementos de un aerogenerador agrupación por área tecnológica.....	14
Figura 3. Generación global de energía por fuente 2015.....	20
Figura 4. Inversión global en renovables por tecnologías 2015.....	20
Figura 5. Crecimiento en dimensión de las turbinas de viento a partir de 1980 y prospectos.....	22
Figura 6. Tendencia de costos de turbinas eólicas basadas en tierra.....	24
Figura 7. Velocidad del viento en México.....	26
Figura 8. Potencial del recurso eólico.....	27
Figura 9. Capacidad instalada por tipo de tecnología 2016.....	28
Figura 10. Centrales de capacidad y generación eólica al 2016.....	30
Figura 11. Capacidad adicional en centrales eólicas 2017-2031	31
Figura 12. Crecimiento anual de energía eólica en México.....	31
Figura 13. Prospectiva de la capacidad instalada de energía eólica 2017-2031 (MW).	32
Figura 14. Capacidad adicional por situación de proyectos (MW).	33
Figura 15. Capacidad adicional por modalidad para tecnología eólica (MW).....	33
Figura 16. Capacidad adicional en centrales eólicas 2017-2031.....	34
Figura 17. Transformación del sector eléctrico.....	35
Figura 18. Instituciones relevantes para el sector eléctrico en México.....	36
Figura 19. Principales atribuciones del CENACE.....	37
Figura 20. Atribuciones de la CRE.....	37
Figura 21. Etapas de la cadena de valor de un proyecto eólico.....	40
Figura 22. Número de empresas involucradas por fase de la cadena de valor de la energía eólica en México.....	41
Figura 23. Fabricantes de Aerogeneradores en México.....	42
Figura 24. Tres ocupaciones críticas de energía eólica para el 2025.....	45
Figura 25. Tipos de documentos publicados referente a operación y mantenimiento de plantas eólicas 2007-2017	52
Figura 26. Documentos publicados por año referente a operación y mantenimiento de plantas eólicas.....	52
Figura 27. Términos frecuentes en documentos relacionados con la operación y mantenimiento de plantas eólicas.....	53
Figura 28. Países con mayor número de publicaciones relacionados con la operación y mantenimiento de plantas eólicas.....	54
Figura 29. Organizaciones con mayor número patentes relacionadas con la operación y mantenimiento de plantas eólicas.....	55
Figura 30. Investigadores con más documentos publicados relacionados con la operación y mantenimiento de plantas eólicas.....	56

Figura 31. Tipos de documentos publicados referente a operación y mantenimiento de plantas eólicas 2007-2017	57
Figura 32. Documentos publicados por año en sistemas de información para la operación de plantas eólicas.	57
Figura 33. Términos frecuentes en documentos relacionados con sistemas de información para la operación de plantas eólicas.	58
Figura 34. Países con mayor número de publicaciones relacionadas con sistemas de información para la operación de plantas eólicas	59
Figura 35. Organizaciones con patentes registradas relacionadas con sistemas de información para la operación de plantas eólicas	60
Figura 36. Organizaciones con el mayor número de publicaciones relativas a sistemas de información para la operación de plantas eólicas	61
Figura 37. Organizaciones con patentes registradas relacionadas con sistemas de información para la operación de plantas eólicas	62
Figura 38. Investigadores con más documentos publicados relacionados con sistemas de información para la operación de plantas eólicas.	63
Figura 39. Tipos de documentos publicados sobre evacuación de energía en plantas eólicas 2007-2017.....	64
Figura 40. Documentos publicados por año referente a la evacuación de la energía en plantas eólicas.	65
Figura 41. Términos frecuentes en documentos relacionados con la evacuación de la energía en plantas eólicas.	65
Figura 42. Países con mayor publicación de documentos relacionados con la evacuación de la energía en plantas eólicas	66
Figura 43. Organizaciones con el mayor número de documentos publicados relativos a la evacuación de la energía de plantas eólicas.	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias entre turbinas verticales y horizontales	15
Tabla 2. Capacidad instalada (MW) de los primeros 15 países generadores de energía eólica.	21
Tabla 3. Generación Eléctrica 2016 en México (Gigawatt-hora).	29
Tabla 4. Participación de empresas nacionales y extranjeras en la cadena de valor de la energía eólica en México	42
Tabla 5. Prospectiva de requerimientos de personal para la industria eólica en el 2017	43



1.

INTRODUCCIÓN

1 Introducción

La Secretaría de Energía (SENER) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) apoyaron la creación de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIES) a través del Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética (CONACYT, 2014). Esta iniciativa se fundamenta en la Ley de Transición Energética (DOF, 2015) y la Estrategia Nacional de Energía 2014-2028 (SENER, 2014a).

De esta manera se creó el CEMIE-Eólico, con la finalidad de contar con conocimiento unificado en materia de energía eólica y generar sinergias que permitan orientar las actividades de innovación, investigación y desarrollo tecnológico con el fin de contribuir al fortalecimiento de la industria eólica del país.

Este reporte proporciona un panorama general sobre los retos, las oportunidades y tendencias relacionadas con la tecnología eólica en tierra y fue empleado como insumo de información para realizar los talleres en donde se generó el Mapa de Ruta Tecnológica de Energía Eólica en México.

1.1 Objetivo

Establecer un panorama general de la energía eólica en tierra, así como de los principales retos tecnológicos que enfrenta el despliegue de esta energía.

1.2 Metodología general para realizar el reporte de inteligencia tecnológica

El reporte de inteligencia tecnológica se efectuó siguiendo las etapas generales que se muestra en la figura 1.

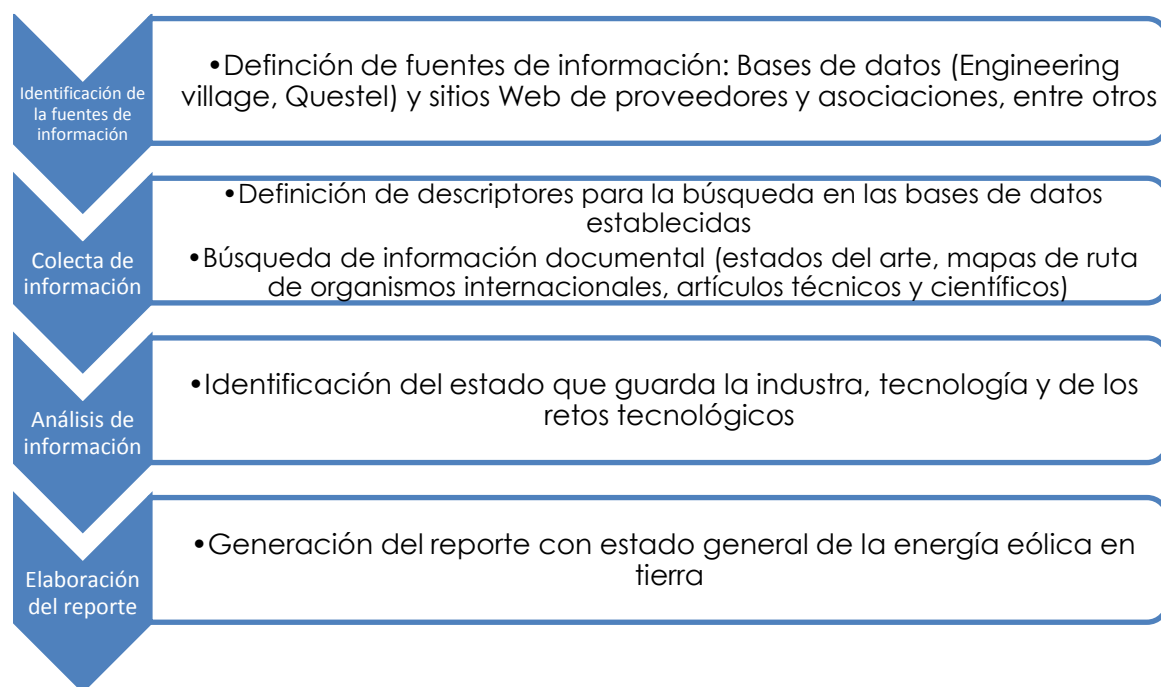
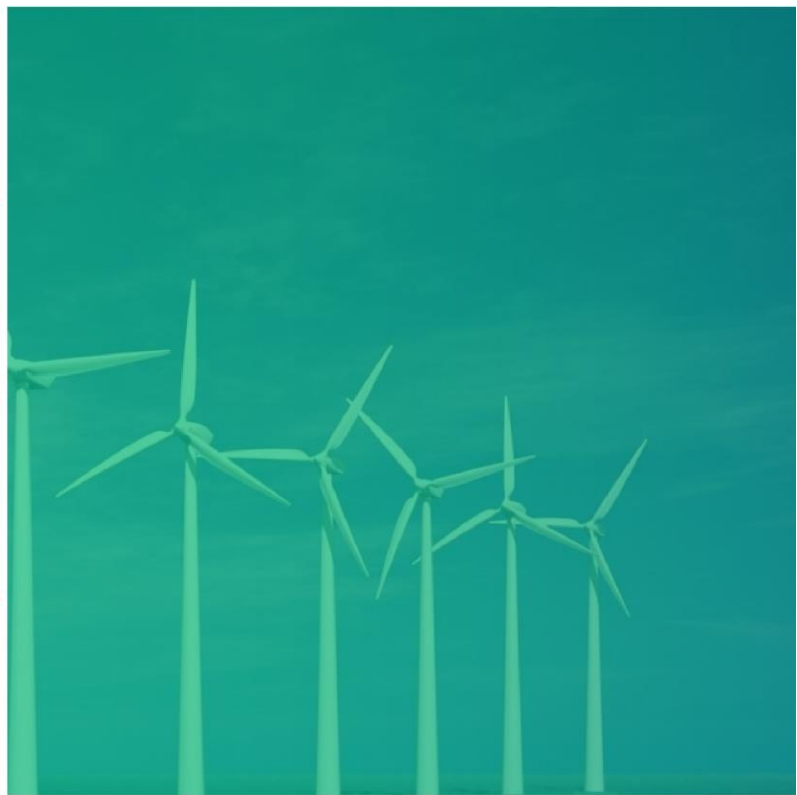


Figura 1. Proceso metodológico para realizar el Reporte de Inteligencia Tecnológica

Las principales fuentes de información empleadas para elaborar el Reporte de Inteligencia Tecnológica fueron bases de datos de publicaciones (Engineering Village) y patentes (Questel IP Business Intelligence). Entre los documentos que se recopilaron y analizaron se encuentran revistas científicas, tesis de posgrado, revisiones técnicas, revistas técnicas especializadas y reportes de agencias gubernamentales y asociaciones industriales. La búsqueda fue realizada en el 2017 y para el caso de las publicaciones, cubre el periodo de 2007 a 2017.

Asimismo, se consultaron documentos obtenidos de otras fuentes (noticias, proveedores, ferias, y conferencias). Adicionalmente, se recopiló y analizó información publicada por la Secretaría de Energía (SENER), la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), documentos de divulgación científica e informes de empresas y asociaciones líderes en energía eólica.



2.

GENERALIDADES

2 Generalidades

El viento o la energía cinética de flujo de aire, es una fuente de energía libre, limpia e inagotable. Ha sido utilizada en el transporte, industria y agricultura por miles de años. El surgimiento de modernas turbinas eólicas ha permitido aprovechar esta energía para generar electricidad. La energía eólica continua su expansión mundial fundamentado en reducciones de costo de turbinas, políticas públicas y crecimiento de la inversión (IEA-ETSAP, IRENA, 2017).

La energía eólica para generación de electricidad, se está desarrollando como una tecnología confiable y competitiva. A nivel mundial sigue una tendencia de crecimiento anual en capacidad instalada e inversiones (IEA, 2013).

Es importante mencionar que la energía eólica para generación de electricidad, se puede obtener a través de centrales eólicas y a través de pequeños generadores a nivel local (generación distribuida). A continuación se hace una descripción general de estas dos variantes.

Generación a través de grandes centrales eólicas

Actualmente existen grandes centrales eólicas para producir electricidad, las cuales utilizan turbinas, también conocidas como aerogeneradores. Un aerogenerador es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica que impulsa un generador para producir electricidad.

Los aerogeneradores empiezan a funcionar cuando el viento logra una velocidad de 3 a 4 metros por segundo (m/s), y alcanzan su producción máxima con velocidades de 13 a 14 m/s. El factor de planta para este tipo de centrales oscila entre 20% y 43%. Asimismo los aerogeneradores de 1.5 MW a 2.5 MW, todavía constituyen el mayor segmento de mercado.

Generación eólica distribuida

Otra de las aplicaciones de la energía eólica, está enfocada en la generación de pequeña escala de manera distribuida, en este sentido de acuerdo a las experiencias obtenidas a través del proyecto SWIP de la Comisión Europea, 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. La

predicción exacta de la velocidad del viento es esencial para calcular la producción de electricidad, que representa la base para el rendimiento económico.

La evaluación del recurso eólico, actualmente presenta desafíos debido a las costosas herramientas de medición del viento en entornos urbanos. Otra problemática en ambientes urbanos, es que para alturas menores a los 30 metros, el efecto de sombreado y turbulencia de los obstáculos circundantes produce inconsistencia e imprevisibilidad en los patrones de viento.

De acuerdo a 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.

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.

2.1 Componentes de un sistema eólico

De acuerdo al Departamento de Energía de Estados Unidos, se identifican de manera general las siguientes partes de una turbina eólica (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy , 2017):

- Anemómetro. Mide la velocidad del viento y transmite los datos al controlador.
- Palas. Rotan cuando el viento pasa a través de ellas, causando el movimiento del rotor. Generalmente las turbinas tienen de dos a tres palas.
- Controlador. Dispositivo que permite que la máquina trabaje en rangos de velocidades de 3 a 25 m/s. De manera similar no permite operar la turbina en velocidades que sobrepasen los 25 m/s, evitando de esta manera el daño del equipo.

- Caja de cambios. Conecta la flecha de baja velocidad a la de alta velocidad, incrementando la rotación, lo cual es un factor requerido por la mayoría de los generadores para producir electricidad. Este componente es la parte más costosa de la turbina eólica y es en donde los ingenieros están explorando nuevas opciones tecnológicas.
- Generador. Produce corriente alterna.
- Carcaza (nacelle). Posicionado en la parte alta de la torre y contiene la caja de cambios, la flecha de alta y baja velocidad, generador, controlador y frenos.
- Inclinación de la pala (pitch). Gira o inclina las palas, para controlar la velocidad del rotor.
- Rotor. Conformado por el eje y las palas.
- Torre. Estructura de acero tubular y concreto, que soporta la estructura de la turbina.

De acuerdo con la información consultada, existen dos clasificaciones para describir los componentes de las turbinas eólicas, mismas que son:

- Por área tecnológica
- Por tipo de turbina

A continuación se hace una descripción general de cada una de estas clasificaciones.

Clasificación por área tecnológica

El mapa de ruta SMART Wind del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, (Jenkins, Rhoads, Summerville, Baranowski, & Rife, 2016), clasifica los componentes de un aerogenerador en cuatro áreas tecnológicas (ver Figura 2).

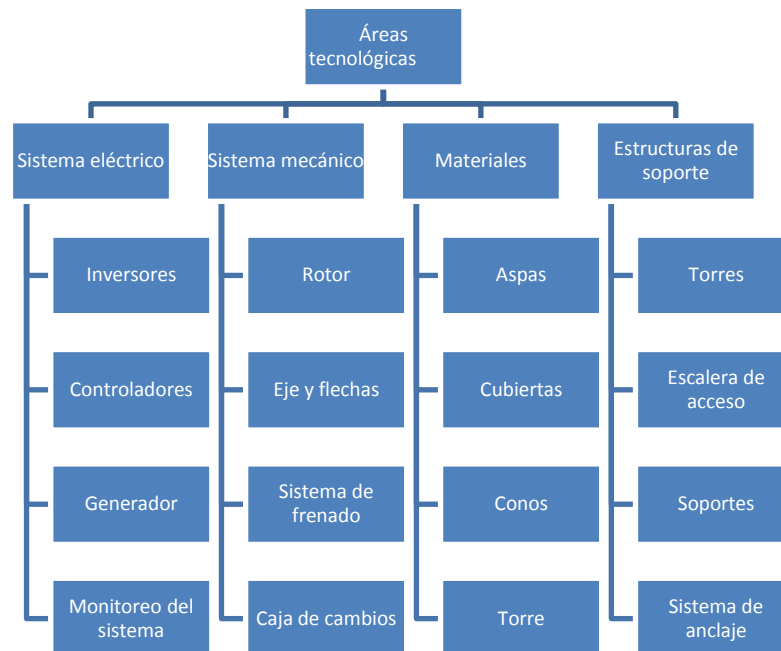


Figura 2. Elementos de un aerogenerador agrupación por área tecnológica.

Fuente: Adaptado de SMART Wind 2016 (Jenkins, Rhoads, Summerville, Baranowski, & Rife, 2016).

De acuerdo al SMART Wind 2016, las principales áreas tecnológicas de un aerogenerador son: sistema eléctrico, sistema mecánico, materiales y estructuras de soporte. A continuación se describen de manera general estas áreas tecnológicas:

En el sistema eléctrico se emplean alternadores de imanes permanentes de acción directa, construidas específicamente de tierras raras que son usados como imán. Debido a los altos precios de estos imanes y el dominio de proveedores chinos, los diseñadores de alternadores han buscado tecnologías alternativas y diversos grados de imán. La mayoría de alternadores son máquinas de flujo radial con bobinas de cobre colocadas en pilas de laminación de estampado de acero de silicio.

El sistema mecánico incluye desde rodamientos y cajas de velocidades hasta complejos sistemas de control de velocidad de las palas y abarcan una gran variedad de subcomponentes y ensambles. Los componentes del sistema mecánico son típicamente partes fabricadas que tienen un gran potencial de beneficiarse de avances innovadores relacionados con métodos de fabricación, procesos y sistemas. Estos componentes, en algunos casos se fabrican de manera local, mientras que otros son suministrados por proveedores a nivel internacional.

Los materiales que utilizan las turbinas modernas para construir las palas, son plástico de fibra reforzada, estas palas son moldeadas con fibra de vidrio y resina de poliéster. Las aspas del rotor experimentan altas cargas y ciclos de fatiga extremadamente alta por lo que su diseño estructural es puesto a prueba. Deben tener protección de los

rayos UV y soportar la erosión en los extremos. La fibra de carbón es algunas veces usada para incrementar la rigidez, pero generalmente no es adecuada para este tipo de aplicación. La resina es comúnmente usada en aspas o en palas de turbinas eólicas pequeñas. Para turbinas eólicas grandes se prefiere la colocación manual con infusiones al vacío.

La estructura de soporte de las torres altas ayuda a mejorar el desempeño de la turbina eólica, puesto que las velocidades del viento son mayores y las turbulencias disminuyen con la altura. Sin embargo el diseño del sistema de torre y cimentación, que incluye la transportación, material y consideraciones de instalación, tiene un costo significativo, la construcción de la torre significa el 50% de los costos totales de un proyecto eólico pequeño.

Clasificación por tipo de turbina

La turbina eólica (aerogenerador) puede convertir la energía del viento en energía mecánica y puede ser de dos tipos: de eje horizontal y vertical. La más común es la de eje horizontal, pero la de eje vertical tiene ventajas en su costo, facilidad de instalación y mantenimiento.

Las diferencias entre los dos tipos de turbinas de acuerdo a su eje, se muestran en la tabla 1:

Tabla 1. Diferencias entre turbinas verticales y horizontales

No.	Eje horizontal	Eje vertical
1	El eje giratorio de la turbina eólica permanece horizontal, o paralelo con el suelo	El eje giratorio permanece vertical o perpendicular al suelo
2	Es capaz de producir más electricidad a partir de una cantidad dada de viento	Produce hasta un 50% más de electricidad en una base anual en comparación con las turbinas convencionales con la misma área barrida
3	Es conveniente para la gran aplicación del viento	Es adecuado para pequeños proyectos eólicos y aplicaciones residenciales
4	Comparativamente más pesado y no apto para vientos turbulentos	Más ligero y produce bien en condiciones de viento excesivo
5	Se alimentan con el viento de la dirección específica	Las turbinas de eje vertical son alimentadas por el viento que viene de todos los 360°, e incluso las turbinas se alimentan cuando el viento sopla de arriba abajo
6	No es adecuado para generar electricidad a partir de la velocidad del viento por debajo de 6 m/s y	Genera electricidad en vientos de hasta 2 m/s y continúa generando energía en

No.	Eje horizontal	Eje vertical
	generalmente cortan a la velocidad de 25 m/s	velocidad del viento de hasta 65 m/s basada en el modelo
7	No pueden soportar condiciones climáticas extremas debido a las heladas, lluvias heladas o nieve pesada ni fuertes vientos de más de 50 m/s	Con soportes climáticos extremos como heladas, hielo, arena, sal, humedad y muy altas condiciones de viento de más de 60 m/s
8	Las aves son heridas o muertas por las hélices, ya que no son objetos sólidos los pájaros vuelan hacia las hojas	No daña la vida silvestre, como las aves pueden detectar un objeto sólido y se puede ver en el radar de aviones
9	La mayoría se auto-arranca	Par de arranque bajo y puede requerir energía para comenzar a girar
10	Difícil de transportar e instalar	Menores costos de construcción y transporte

Fuente: Progress and recent trends of wind energy technology, (Islam, Mekhilef, & Saidur, 2013).

Actualmente, predominan en los parques eólicos de todo el mundo, los aerogeneradores de eje horizontal, recientes investigaciones han demostrado que los de eje vertical son más económicos y eficientes en cuanto al uso de la tierra, pero es muy raro encontrarlos instalados. La mayoría de las turbinas conectadas a la red utilizan tres palas con un rotor con eje horizontal, que pueden ser regulados para controlar la salida de energía.

Ventajas de la energía eólica

De manera general, se identificaron algunas de las ventajas de la tecnología eólica en comparación con otras tecnologías fósiles (ej. termoeléctricas):

1. Cero emisiones de CO₂;
2. No requiere suministro de combustible. El viento es inagotable;
3. Bajos costos de operación y mantenimiento de la instalación eólica;
4. Rápidos tiempos de construcción (1 año);
5. Compatibilidad del uso del terreno con otras actividades productivas.

Por el contrario, las principales críticas a la tecnología eólica son las siguientes:

1. Contaminación acústica debida a la rotación de las palas;
2. Impacto paisajístico de centrales eólicas. En general los aerogeneradores se instalan agrupados en centrales eólicas para aprovechar mejor el potencial energético del lugar y reducir costos;
3. Impacto ambiental (aves);

4. Intermittencia de generación: una central eólica genera energía eléctrica sólo cuando hay viento. La predictibilidad de la generación tiene un impacto en la operación de un sistema eléctrico que, para garantizar confiabilidad, deberá prever fuentes adicionales de back up;
5. Tiempo de desarrollo: si bien la fase de construcción es relativamente rápida, una central eólica requiere de 3 a 4 años para su fase de desarrollo, esta fase implica campañas de medición de viento (mínimo un año), *layout* del parque, permisos, etc.
6. Localización: normalmente, los emplazamientos de mayor recurso eólico se encuentran en zonas aisladas/remotas de difícil acceso o con escasa infraestructura de interconexión respecto a la capacidad disponible de generación (ej. Oaxaca, Tamaulipas).

2.2 Etapas del desarrollo de un proyecto eólico

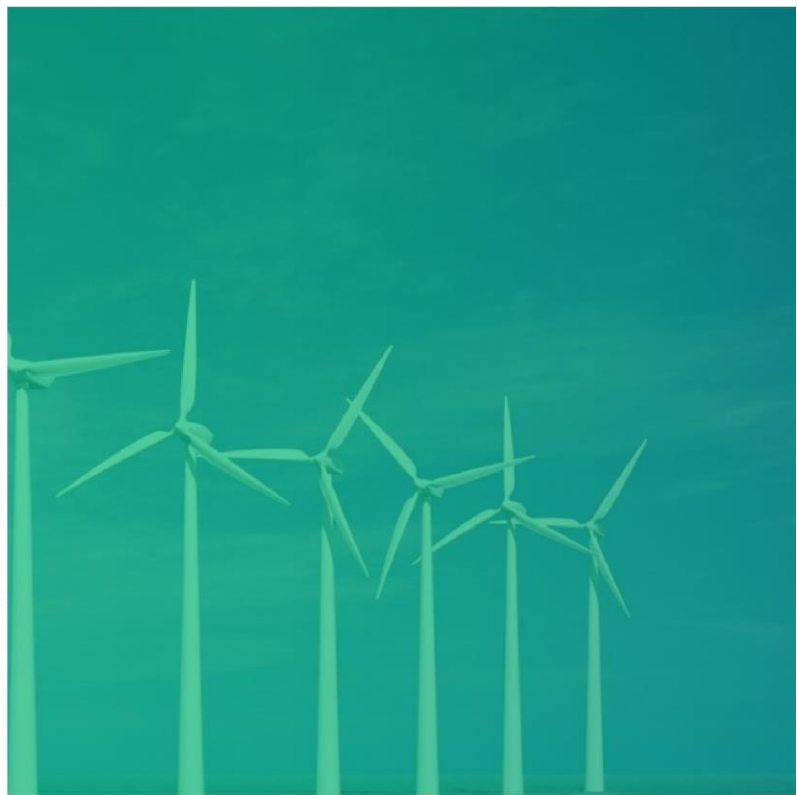
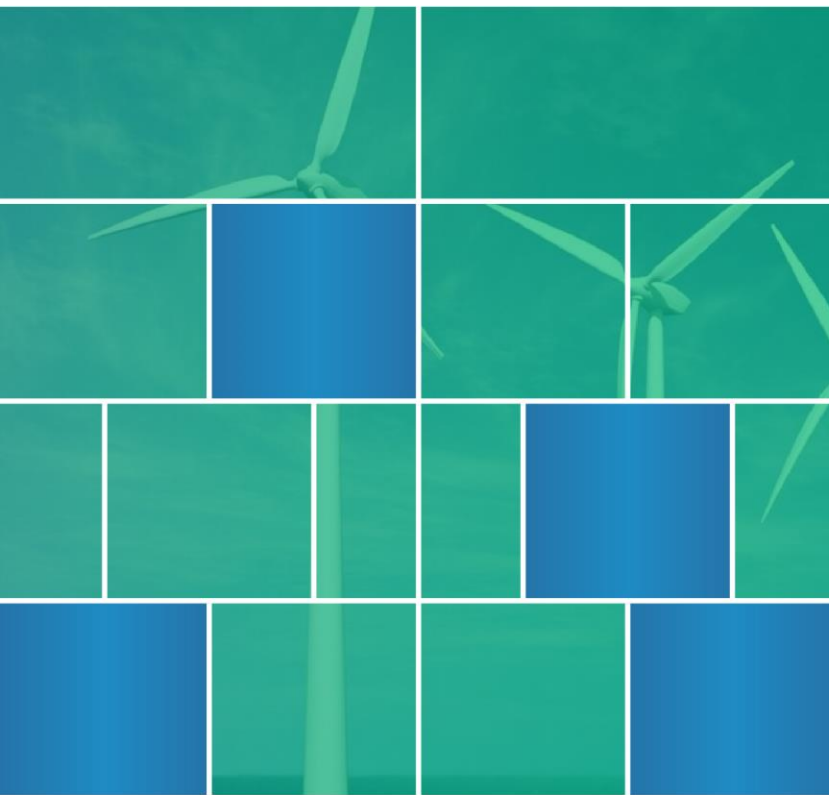
El desarrollo de un proyecto eólico, requiere de especialistas de diversas áreas del conocimiento tales mecánica, eléctrica, civil y económica, entre otras. Su desarrollo involucra diversas fases. De manera general, se identifican siete etapas para el desarrollo de un proyecto eólico (Saltiello, Tadeo, & Sánchez, 2017), las cuales se describen a continuación:

- Prospección: que incluye la actividad de selección de un emplazamiento en función del nivel de recurso disponible.
- Desarrollo: es la fase marcada por la obtención de permisos y aseguramiento de terrenos, destacando entre las actividades de esta fase la obtención de un punto de interconexión para el futuro proyecto. De hecho, ya en la primera fase se tienen más o menos en cuenta este factor de la interconexión.
- Comercialización de energía: Aunque la comercialización como tal se produce en paralelo a la fase de operación del proyecto, la venta de energía tiene que estar asegurada desde antes y es el detonante de cualquier decisión de inversión. Esta etapa determina el financiamiento que un desarrollador puede recibir. Un proyecto sólo es financiable/viable si cumple con dos premisas básicas para la financiación, la predictibilidad y la certidumbre de ingresos a largo plazo. Sin estas dos características, un proyecto difícilmente se hará realidad.
- Financiamiento: normalmente los proyectos eólicos se financian mediante el esquema de project finance, el cual requiere la predictibilidad y certidumbre de ingresos a largo plazo comentada en el punto anterior. En esta fase, las

entidades financieras realizan una auditoría exhaustiva del proyecto (legal, técnica y comercial) con la finalidad de minimizar los riesgos de recuperación.

- Construcción: la ejecución de las obras de un parque eólico es relativamente breve (1 año aproximadamente). Si bien tiene sus complejidades técnicas y logísticas, ya hay una dilatada experiencia que hace que esta fase no sea especialmente crítica.
- Operación y mantenimiento: esta fase en comparación con tecnologías convencionales, es más sencilla, dada la “simplicidad” de la tecnología y el equipo humano necesario es menor.

En las dos primeras fases, “Prospección” y “Desarrollo”, la necesidad de recursos financieros es relativamente “asequible”, sin embargo, para la fase de “Construcción”, una vez que se ha tomado la decisión de invertir, se hace necesarios recursos financieros importantes, para lo cual 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.



3.

ENTORNO INTERNACIONAL

3 Entorno internacional

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

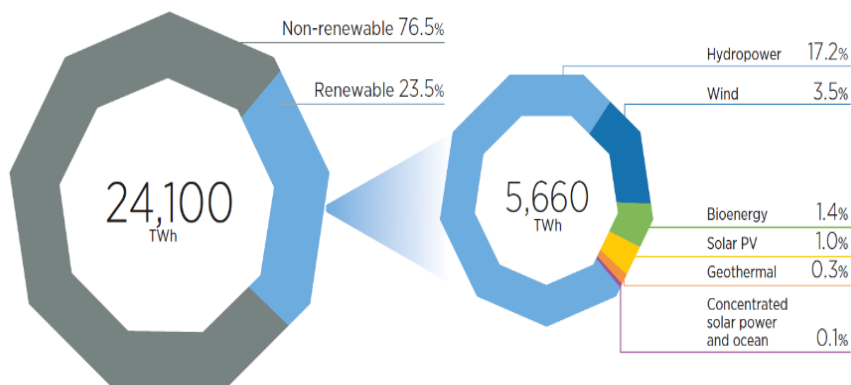


Figura 3. Generación global de energía por fuente 2015.

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, entre las fuentes de energía renovables, la inversión para la energía eólica representó un 40% en inversiones a nivel mundial, solamente superada por la energía solar fotovoltaica.

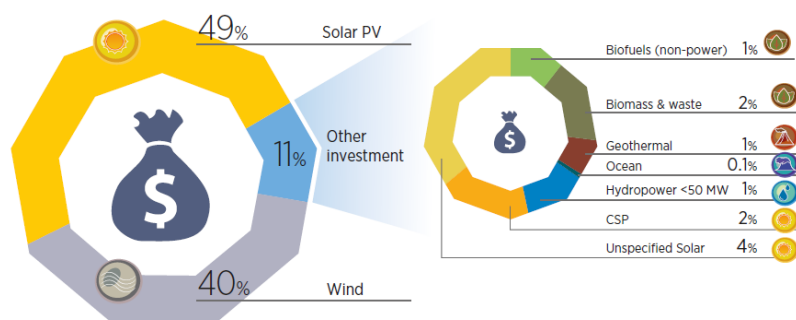


Figura 4. Inversión global en renovables por tecnologías 2015.

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 de las diferentes fuentes de energías renovables, incluyendo 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).

Capacidad instalada a nivel internacional

La tabla 2, 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 al 2016 (primer semestre). Es importante resaltar que el país que cuenta con mayor capacidad instalada en el mundo es China, la cual cuenta con 158,000 MW instalados, le siguen Estados Unidos, Alemania, India y España.

Tabla 2 Capacidad instalada (MW) de los primeros 15 países generadores 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 Word Wind Energy Association 2016, (WWEA, 2017).

3.1 Tendencias tecnológicas

De acuerdo al NREL, la energía eólica en tierra, es una tecnología madura, que todavía tiene margen de mejora. Algunas de estas mejoras en los próximos años estarán enfocadas en reducir los costos de la energía producida, mejorar la rentabilidad del aerogenerador, es decir reducir costos de capital, operación y mantenimiento. Asimismo maximizar la producción de energía y la confiabilidad del sistema eólico (European Commission, 2014).

Una tendencia general en el diseño de turbina 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 sus capacidades de potencia (ver figura 5).

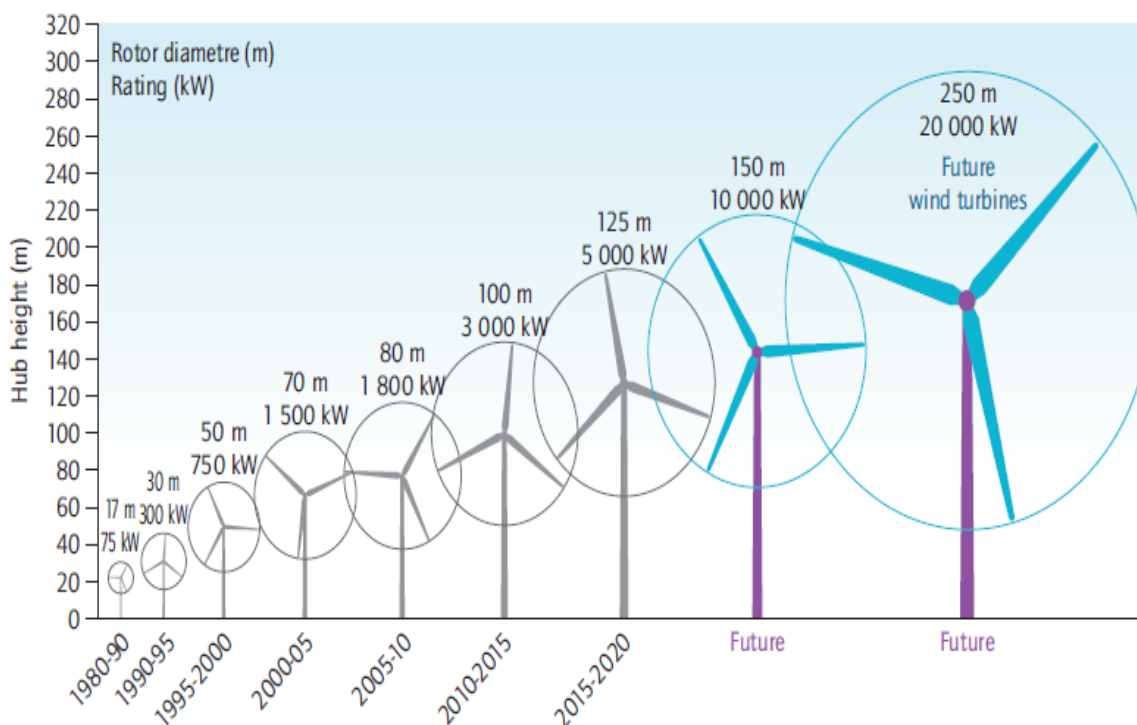


Figura 5. Crecimiento en dimensión de las turbinas de viento a partir de 1980 y prospectos.

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.

La tendencia en los diseños de turbina e incremento del alto de la torre, han conducido al diseño de rotores para bajas velocidades de viento, teniendo aún una potencia específica más pequeña, con mástiles más altos y palas más largas en relación con el tamaño del generador y con altos factores de capacidad. Lo anterior permite la instalación de turbinas eólicas en áreas con baja velocidad de viento, lugares que generalmente están más cerca a los centro de consumo.

Los avances en el diseño de palas, con mejores materiales y con estrategias de control más avanzadas, han contribuido al incremento del rendimiento de las turbinas.

A partir de 2008, la participación de turbinas sin caja de cambios o de manejo directo se ha incrementado de un 12% a un 20%.

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 deben considerar principios de desarrollo sostenible y criterios de implementación en el proceso técnico, productos y operaciones.

El gran reto en la tecnología de energía eólica, consiste en diseñar una turbina más eficiente, robusta y menos costosa que la actual, para aprovechar la energía del viento transformándola en electricidad. Así también, se requieren innovaciones en su diseño, materiales y proceso.

El costo de una turbina depende fuertemente de dos factores: La competencia del mercado y de los costos internacionales de materias primas. La experiencia indica que en la medida que aumenta la competencia por el mercado, los precios de las turbinas disminuyen, este efecto se observa a partir de 2008, donde se incrementó el interés por la energía eólica y por consiguiente, la competencia por ganar mercado causó una disminución en los precios (ver figura 6).

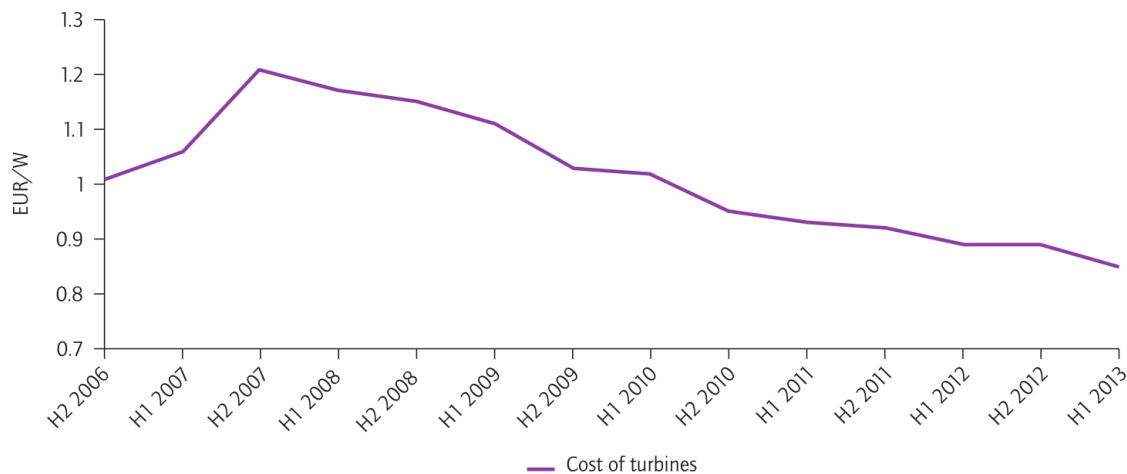
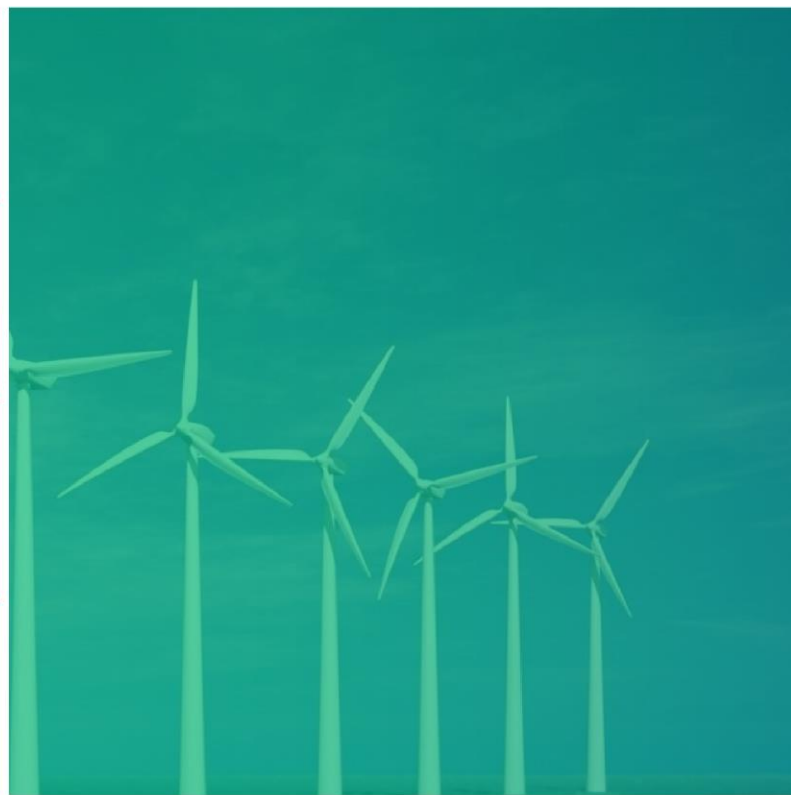
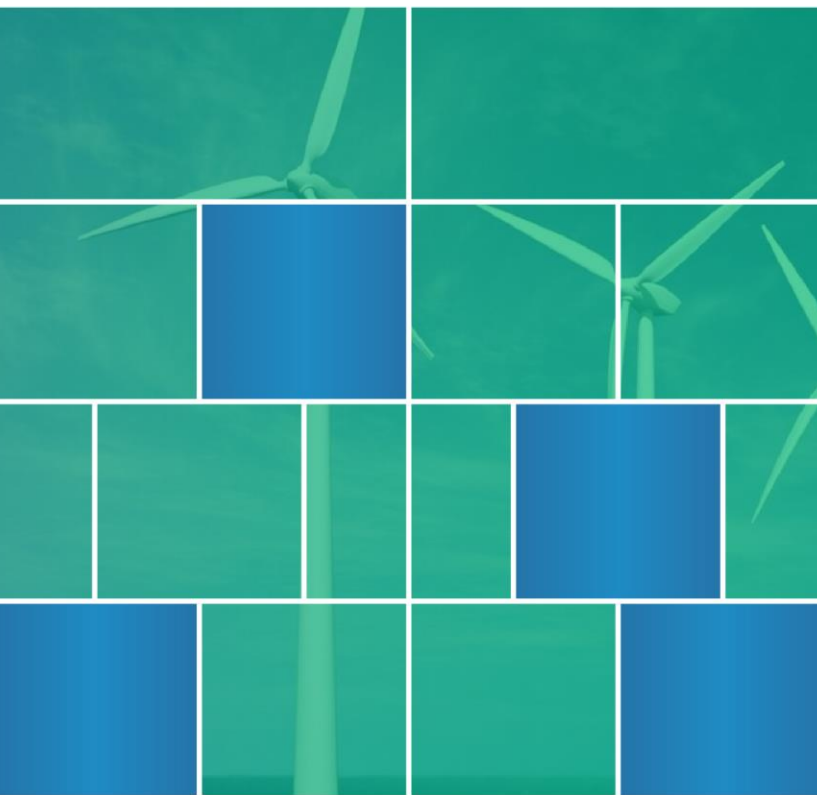


Figura 6. Tendencia de costos de turbinas eólicas basadas en tierra.

Fuente: Mapa de ruta tecnológico de la energía eólica, (IEA, 2013).



4.

LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO

4 La Energía Eólica en México

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 7).

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

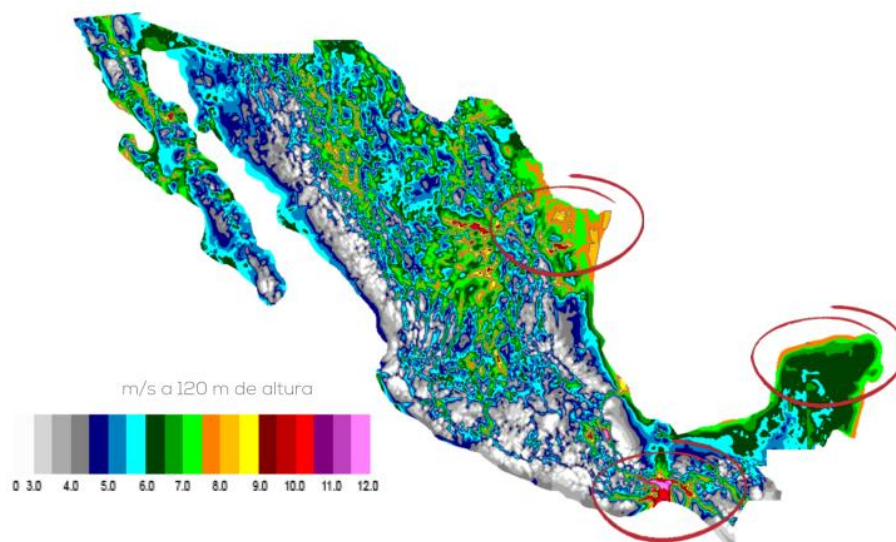


Figura 7. Velocidad del viento en México.

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

Derivado del potencial eólico en México, en los últimos años se han desarrollado estrategias para incorporar la generación eólica en la matriz energética, ejemplo de ello es la instalación de centrales eólicas. 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, región central, península de Yucatán y el Istmo de Tehuantepec.

En la figura 8, 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.

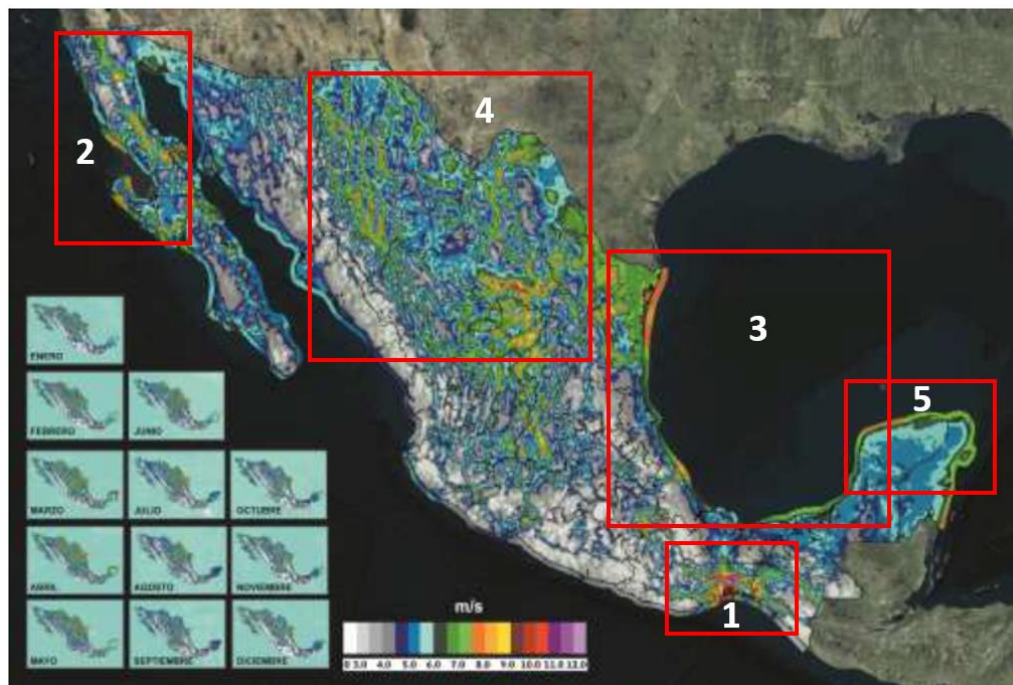


Figura 8. Potencial del recurso eólico.

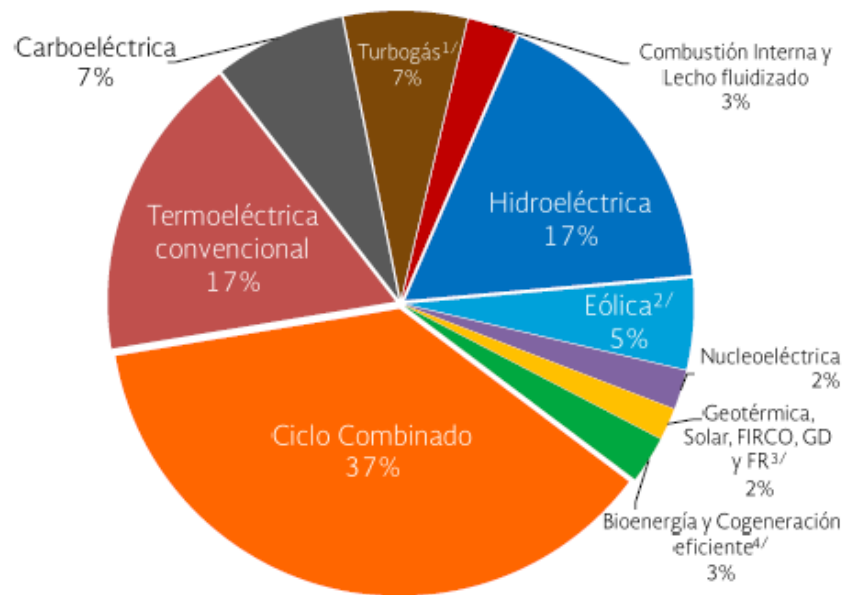
Fuente: INERE 2016, (SENER-CFE, 2015).

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

4.1 Capacidad instalada

En 2016, la capacidad instalada del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), fue de 73,510 MW, donde 71.2% corresponde a centrales eléctricas convencionales y 28.8% a centrales eléctricas con tecnologías limpias (SENER, 2017a).

La energía eólica representa el 5% de la capacidad instalada total (ver figura 9).



^{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.

Figura 9. Capacidad instalada por tipo de tecnología 2016.

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

La generación 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 generación limpia provino principalmente de centrales hidroeléctricas (48%), nucleoeléctricas (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 3).

Tabla 3. 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
<i>Renovable</i>	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
<i>Otras</i>	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).

4.2 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 productor independiente de energía.

En la figura 10, se muestran las capacidades instaladas y generación (corte finales de 2016) en los estados que actualmente tienen plantas de energía eólica, destacando el estado de Oaxaca.

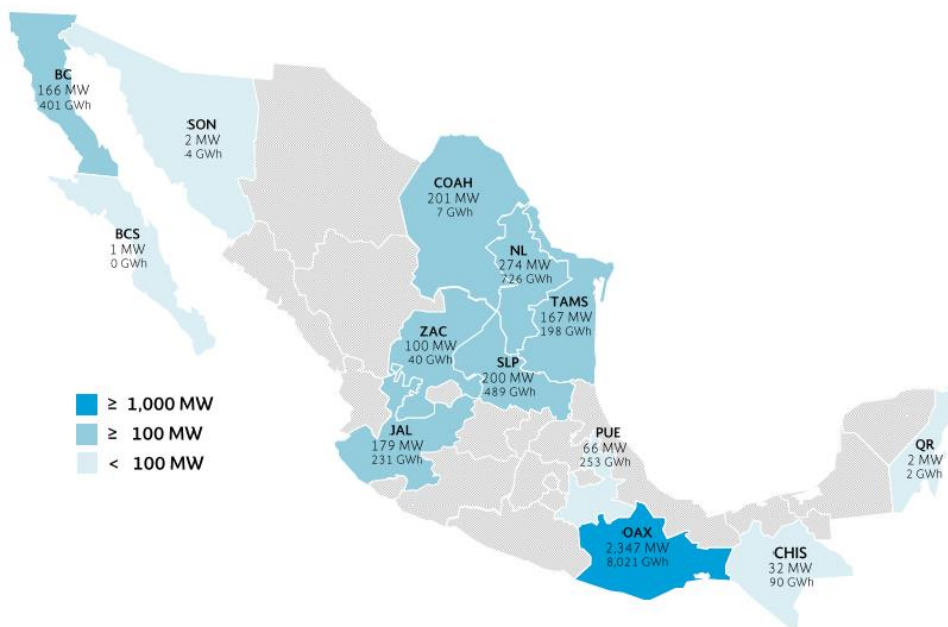


Figura 10. Centrales de capacidad y generación eólica al 2016.

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

Es importante destacar que de acuerdo a la SENER, la capacidad instalada de energía eólica fue 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 11), se adicionen 13.5 GW de capacidad instalada.



Figura 11. Capacidad adicional en centrales eólicas 2017-2031

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

Como se aprecia en la figura 12, 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.

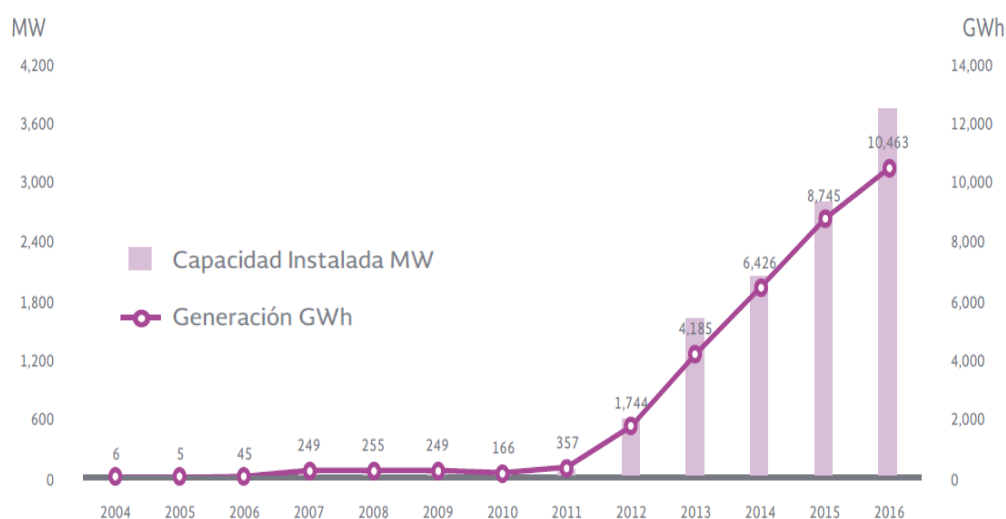


Figura 12. Crecimiento anual de energía eólica en México.

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

4.3 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 13.

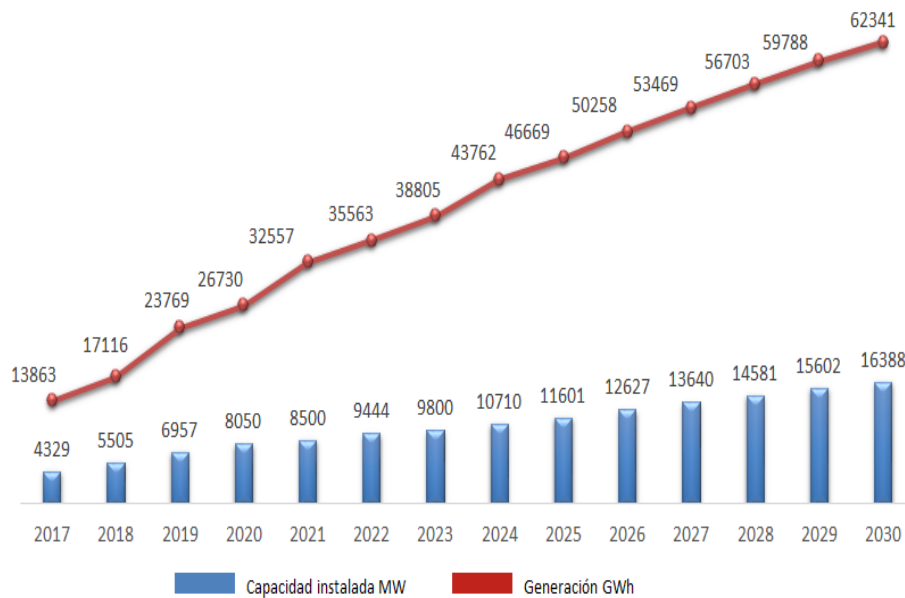


Figura 13. Prospectiva de la capacidad instalada de energía eólica 2017-2031 (MW).

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

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 14).

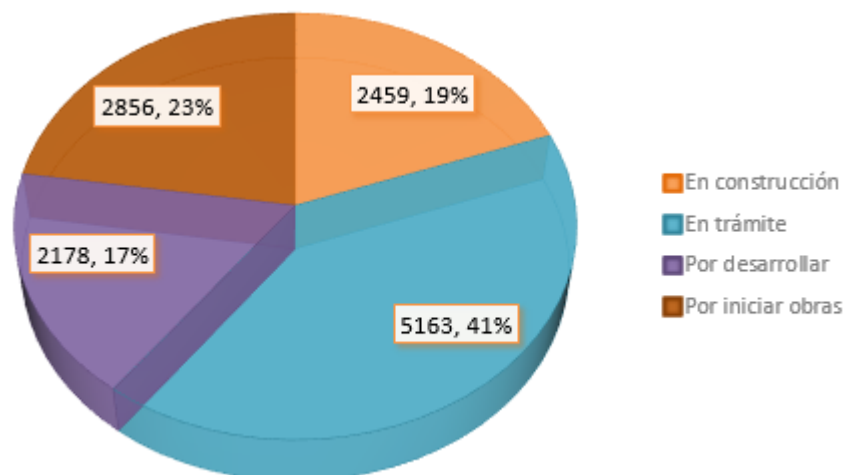


Figura 14. Capacidad adicional por situación de proyectos (MW).

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 15, 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.

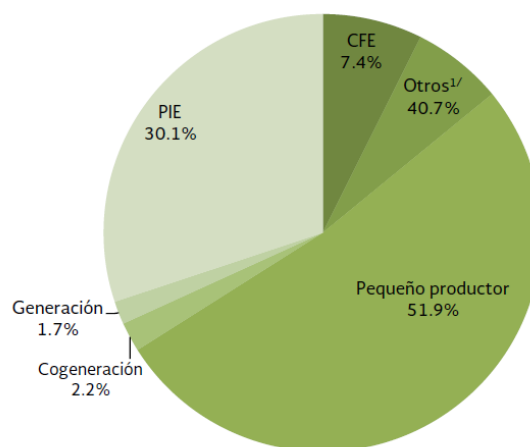


Figura 15. Capacidad adicional por modalidad para tecnología eólica (MW).

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 16):



Figura 16. Capacidad adicional en centrales eólicas 2017-2031.

Fuente: PRODESEN 2017-2031

4.4 Actores clave de la industria

La Reforma Energética establece un nuevo modelo eléctrico con múltiples generadores, acceso universal y operación eficiente de las redes de transmisión y distribución.

La Ley de la Industria Eléctrica (LIE) y la Ley de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) junto con el resto de las regulaciones de la reforma energética, han transformado de manera importante al sector eléctrico.

El nuevo contexto nacional permitirá la incorporación de nuevos jugadores en el mercado eléctrico mayorista, fomentando la libre competencia. Los usuarios podrán adquirir energía eléctrica de la CFE o de empresas privadas, lo cual representa que la CFE evolucione y se transforme para dar respuesta en un escenario de mayor competitividad y transparencia. La CFE se transformó en una empresa productiva del Estado y se le dotará de flexibilidad para tomar las decisiones pertinentes de Gobierno Corporativo y modelo de negocio más adecuado para competir en igualdad de circunstancias bajo el nuevo marco aplicable al sector eléctrico (ver figura 17).

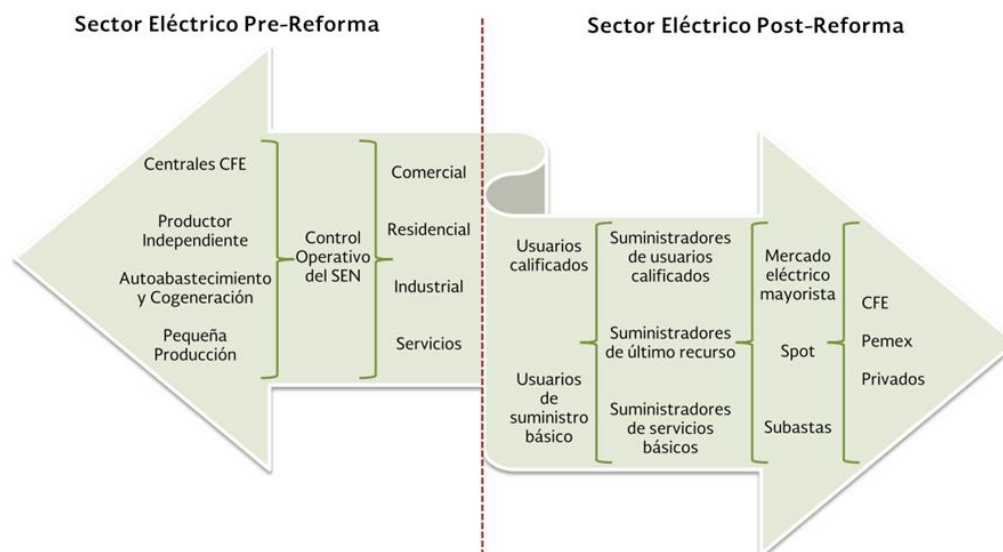


Figura 17. Transformación del sector eléctrico.

Fuente: Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029 (SENER, 2015a).

Como resultado de esta Reforma, se han desarrollado diversas estrategias que han potenciado el desarrollo de energías limpias en México, a continuación se mencionan los elementos que han facilitado este desarrollo:

- la puesta en marcha del Mercado Eléctrico Mayorista,
- la creación del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) como operador del mercado,
- el fortalecimiento a la Secretaría de Energía (SENER) y a la Comisión Reguladora de Energía (CRE), para establecer un mercado eficiente.

Los principales actores relacionados con el sector eléctrico en el país se identifican a continuación (ver figura 18):

- SENER
- CRE
- CFE
- CENACE

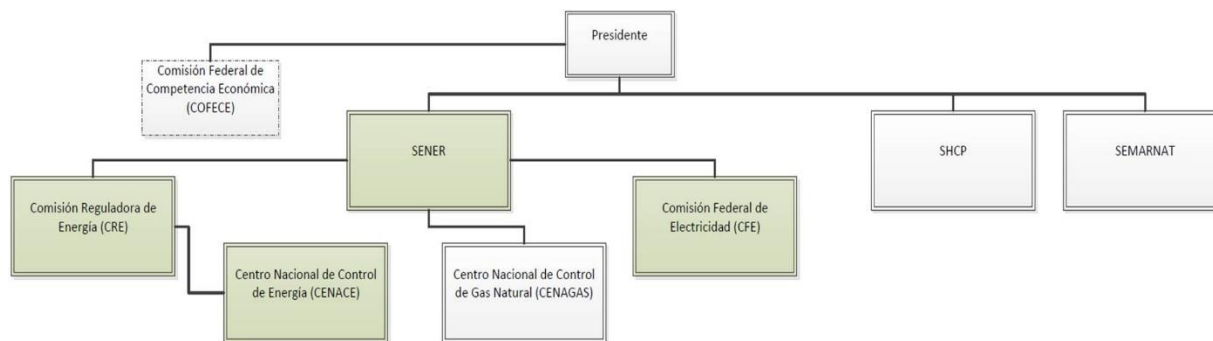


Figura 18. Instituciones relevantes para el sector eléctrico en México.

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

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 acorde a los requerimientos de la población. A continuación se menciona una descripción breve del rol de estas instituciones en el sector eléctrico.

Secretaría de Energía (SENER)

La SENER, tiene entre sus principales funciones el diseño de la política energética del país y planeación del Sistema Eléctrico Nacional, la coordinación de la evaluación del desempeño del CENACE y del Mercado Eléctrico Mayorista, así como el establecimiento de criterios y requisitos en materia de Certificados de Energía Limpia (CEL) y la coordinación y supervisión en la transformación de la CFE en empresa productiva del Estado.

Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)

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 (ver figura 19).



Figura 19. Principales atribuciones del CENACE.

Fuente: Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029 (SENER, 2015a).

Comisión Reguladora de Energía (CRE)

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 (ver figura 20).

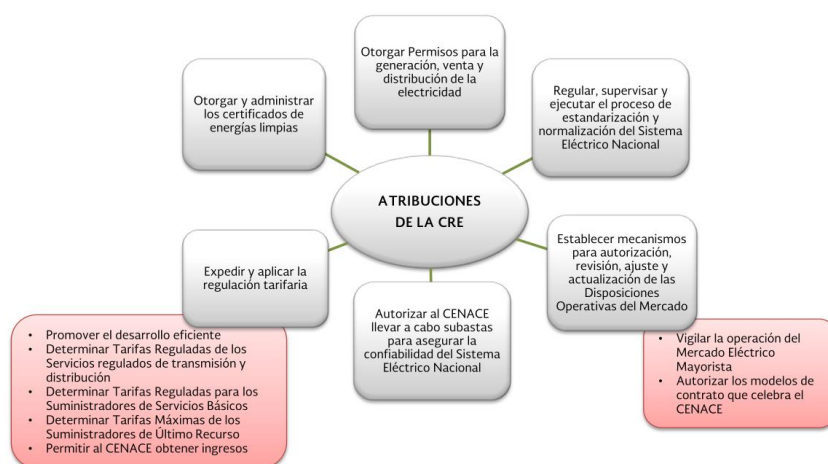


Figura 20. Atribuciones de la CRE.

Fuente: Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029 (SENER, 2015a).

Otros actores relevantes para el desarrollo de la energía eólica

Es importante mencionar que existen otros actores que están impulsando el desarrollo tecnológico y comercial de la energía eólica en México, entre las que destacan la Comunidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico e Innovación (CoIDT+i), asociaciones, desarrolladores y fabricantes. A continuación se realiza una descripción breve de estos actores.

Comunidad de Investigación y Desarrollo Tecnológico e Innovación (CoIDT+i)

Esta comunidad, 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.

Es importante mencionar que el Centro Mexicano de Innovación en Energía Eólica (CEMIE-Eólico), surge como una estrategia para impulsar 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. En este sentido el CEMIE-Eólico, está integrado por 32 instituciones, enfocadas en actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación y está dirigida actualmente por el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL).

Uno de los principales roles del CEMIE-Eólico, está enfocado 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.

Asociaciones

En México la principal asociación relacionada con la energía eólica es la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), 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. La AMDEE está integrada por 100 socios, de los cuales 43 son desarrolladores, 22 son fabricantes y 35 son proveedores de servicios.

Entre sus miembros se encuentran los principales actores del sector: Gas Natural Fenosa, Acciona, Iberdrola, Gamesa, Enel Green Power, Zuma Energía, AES,

Abengoa, Aldener, Alarde, Cubico, Dewi, EDF, Elecnor, EDP, GE, Vestas, Goldwind, Grupo México, Ienova, y Peñoles.

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.

Fabricantes de turbinas

En el país se han establecido fabricantes líderes a nivel internacionales tales como Gamesa, Acciona, Vestas, Clipper, Alstom y General Electric, quienes suministran en su gran mayoría los aerogeneradores que se usan en el país.

4.5 Marco regulatorio

En lo que se refiere al marco normativo que ha impulsado la industria eólica en México, se puede mencionar lo siguiente:

La Ley de la Industria Eléctrica y su reglamento, establece obligaciones para adquisición de Certificados de Energías Limpias (CELs) e instrumenta los mecanismos que se requieran para dar cumplimiento a la política en la materia.

Cabe hacer mención que los CELs, son instrumentos para promover nuevas inversiones en la generación de energía limpia. En el nuevo entorno normativo diferentes tecnologías competirán entre sí para cumplir las metas del sector eléctrico a un menor costo, fomentando el desarrollo del Sector Eléctrico Nacional y la diversificación de la matriz energética.

Por otra parte, en febrero de 2015 se publicó en el portal de la Comisión Federal de Mejora Regulatoria (COFEMER) el proyecto de Bases del Mercado Eléctrico. Por medio de este documento se busca conformar un mercado sólido y estable, con reglas claras y precios acotados. En el artículo 95 de la Ley de la Industria Eléctrica se establece que el Mercado Eléctrico Mayorista deberá promover el desarrollo del Sector Eléctrico Nacional en condiciones de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad.

Con las Bases del Mercado Eléctrico se busca que exista la libre competencia entre generadores, diversificación de fuentes de energía que resulten en la disminución de costos, reducción de emisiones contaminantes y mayores beneficios para los usuarios agrícolas, domésticos, comerciales e industriales. Cabe mencionar que el control y operación de la red eléctrica continua siendo a través de la CFE, empresa productiva del estado.

4.6 Estado de desarrollo de la cadena de suministro en México

De acuerdo a un estudio realizado por INECC durante 2016 (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 (ver figura 21).

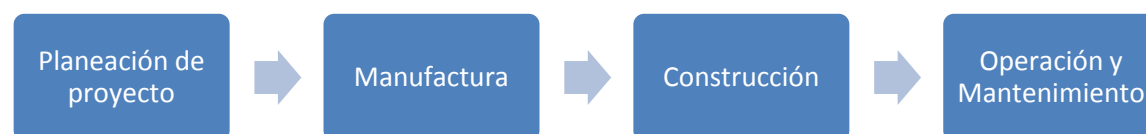


Figura 21. Etapas de la cadena de valor de un proyecto eólico.

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

Este estudio menciona que la mayor concentración de empresas se encuentra en la fase de planeación de los proyectos, seguida por la etapa de operación.

Se observa que 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.

Asimismo se enfatiza, que en el país no se realiza la fabricación de turbinas eólicas, sin embargo, existen empresas en México que están fabricando generadores, aspas y torres.

En la figura 22, se muestra el número de empresas que participan en la cadena de valor de los proyectos eólicos en México.

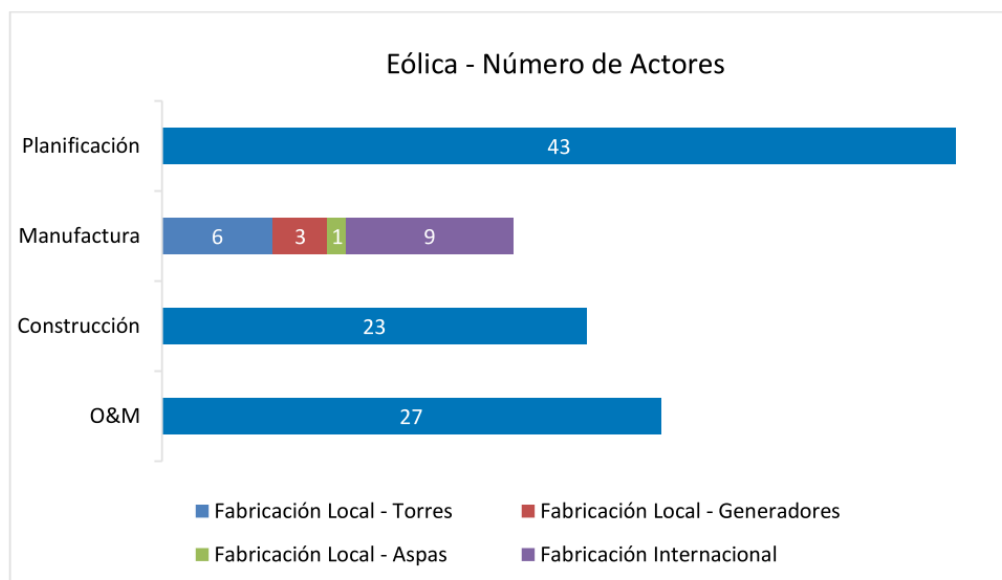


Figura 22. Número de empresas involucradas por fase de la cadena de valor de la energía eólica en México.

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

Asimismo se hizo un análisis de la participación de empresas nacionales y extranjeras en la cadena de valor de la industria eólica, resaltando la poca participación de la industria nacional en la fabricación de componentes (ver tabla 4).

Tabla 4. Participación de empresas nacionales y extranjeras en la cadena de valor de la energía eólica en México

Origen	Planeación	Manufactura	Construcción	O y M
Nacional	27	4	12	13
Extranjera	18	11	12	15

Fuente: Elaborada con base en el estudio de Cadenas 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, (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016).

Los principales actores del mercado eólico mexicano son Acciona, Gamesa, Enel, Vestas, Iberdrola, GNF, Renovalia y Peñoles (ver figura 23). De acuerdo a SENER, en los próximos cinco años se espera una inversión de 8,736 mdd, en proyectos firmes con una capacidad instalada de 5,460 MW, lo que indica que la cadena de suministro debe fortalecerse e incorporar contenido nacional dentro de esta, para dar respuesta oportuna al sector.

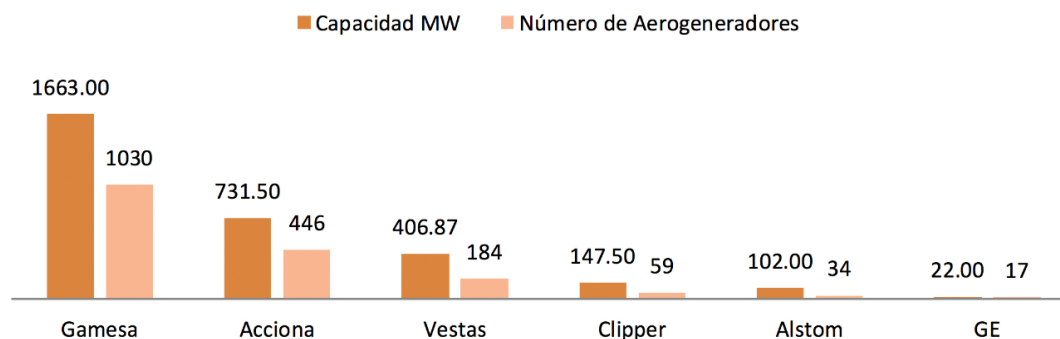


Figura 23. Fabricantes de Aerogeneradores en México.

Fuente: AMDEE recuperado en febrero 2017,

4.7 Necesidades de talento humano en la industria eólica

De acuerdo a la SENER, en la prospectiva de talento del sector energía para el 2017 se estimó que este sector requeriría de 10,783 trabajadores distribuidos en 28 ocupaciones críticas.

Asimismo se menciona que entre el 2015 y 2017, se espera que se adicionen 1,380 trabajadores en la industria eólica representando un incremento del 15%, en la fuerza laboral, este incremento se explica principalmente por el auge que ha tenido la energía eólica en el país en los últimos años, y es un indicador de los requerimientos futuros en función de que se espera un crecimiento importante en la capacidad instalada en el país del 2017 al 2030.

Como se mencionó anteriormente, la SENER identificó 28 ocupaciones críticas que participan en el sector eólico. Se destaca que 17 de estas, son requerimientos de personal con perfil profesional y 11 son ocupaciones para personal con un perfil no técnico. Lo anterior implicará que en los próximos años, se desarrolle talento en México desde el nivel técnico hasta el profesional.

Es importante destacar que de acuerdo a la prospectiva realizada por SENER sobre los requerimientos de personal que pudiera tener la industria eólica en el 2017, las ocupaciones con perfil no técnico con mayor demanda están enfocadas en la construcción, armado de estructuras metálicas, choferes, carpinteros y supervisores de obra. Asimismo, la demanda de personal con perfil profesional está enfocada principalmente en ingenieros civiles y de la construcción, analistas financieros, directores y gerentes en generación y provisión de energía, así como ingenieros mecánicos (ver tabla 5).

Tabla 5. Prospectiva de requerimientos de personal para la industria eólica en el 2017

Ocupaciones críticas	Número de trabajadores
Trabajadores de apoyo en construcción	2,300
Operadores de equipo de construcción portátil	1478
Ensambladores de estructuras metálicas	1314
Supervisores de trabajadores en la extracción, albañiles y en acabados de la construcción	986
Conductores de camiones, camiones y vagones de carga	657
Ingenieros civiles y de la construcción	567

Ocupaciones críticas	Número de trabajadores
Carpinteros	493
Conductores de maquinaria móvil para el traslado de bienes en fábricas, puertos, tiendas	329
Analistas y asesores financieros	284
Directores y gerentes en generación y provisión de energía eléctrica y agua	284
Ingenieros mecánicos	284
Auxiliares y técnicos industriales y químicos	218
Otras ocupaciones de mecánicos y técnicos en el mantenimiento y reparación de equipo mecánico, vehículos automotores e instrumentos industriales	218
Técnicos electricistas	218
Asistentes y técnicos en ciencias biológicas, químicas y ambientales	142
Electricistas y linieros	142
Ingenieros eléctricos	142
Abogados	131
Directores de organizaciones agrícolas	131
Mecánicos en mantenimiento y reparación de maquinaria e instrumentos industriales	109
Técnicos en seguridad e higiene en el trabajo	109
Coordinadores y jefes de área en la producción y suministro de energía eléctrica y agua	66
Auxiliar en ciencias sociales y humanistas	33
Asistentes de topografía y técnicos en hidrología y geología	33
Coordinadores y jefes de departamento en construcción, reparación y mantenimiento	33
Diseñadores industriales	33
Geógrafos	33
Asistente de administración, mercadeo, marketing y comercio exterior	20
Total	10,787

Fuente: Prospectiva de talento del sector energía 2017, (SENER, 2014b)

Se prevé que para el 2025, las tres ocupaciones con mayor demanda laboral en la industria eólica serán los ingenieros civiles y de construcción, analistas y asesores financieros y finalmente, directores y gerentes en generación y provisión de energía eléctrica y agua (ver figura 24).

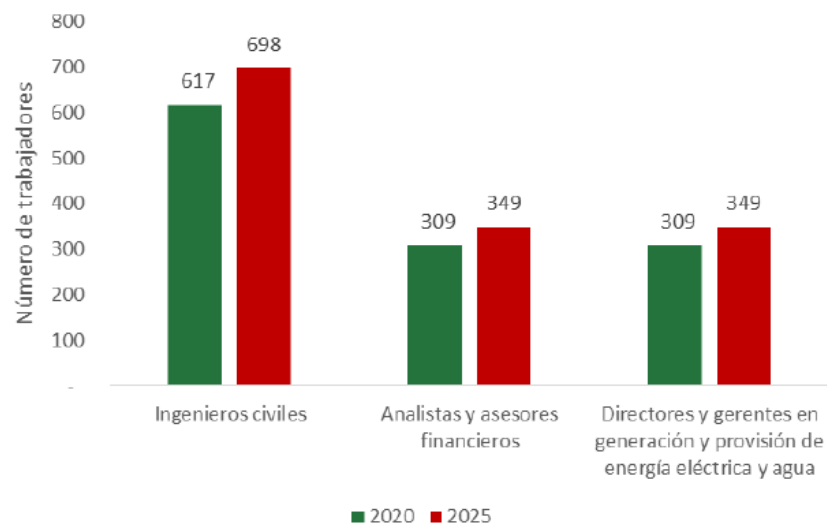
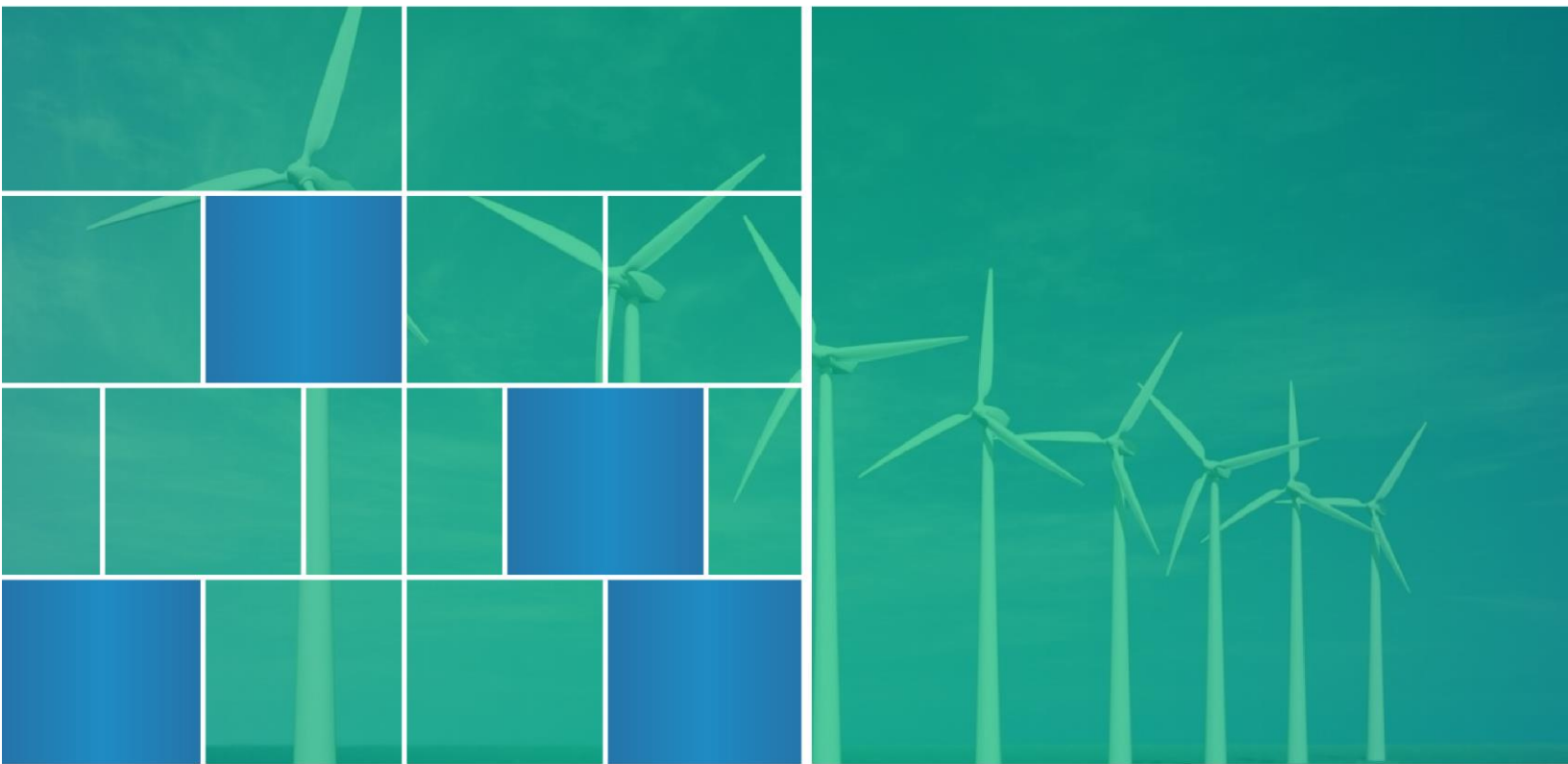


Figura 24. Tres ocupaciones críticas de energía eólica para el 2025.

Fuente: Prospectiva de talento del sector energía 2017, (SENER, 2014b)



5.

RETOS TÉCNICOS Y BARRERAS

5 Retos tecnológicos y barreras

De acuerdo a la información consultada, se identificaron retos tecnológicos y barreras en el ámbito internacional relacionadas con el desarrollo de la energía eólica, a continuación se relacionan:

5.1 Retos tecnológicos

En el Mapa de Ruta SMART Wind desarrollado por el Departamento de Comercio de los Estados Unidos (Jenkins, Rhoads, Summerville, Baranowski, & Rife, 2016), agrupó por sub sistemas los siguientes retos:

- **Mecánico:** Innovar en nuevos métodos de diseño utilizando técnicas como de modelado FAST, técnicas de fundido e impresión 3-D.
- **Estructuras de soporte:** Remplazar los cimientos típicos de hormigón y barras de concreto, por estructuras que utilicen tornillos de anclaje, las cuales tienen el potencial de reducir los costos de instalación, disminuir también los tiempos de instalación.
- **Materiales:** Desarrollar tejidos de fibra de carbono preimpregnados de bajo costo en la construcción de palas más largas. Las resinas de poliuretano termoplástico y termoestable pueden ayudar al diseño de estructuras más eficientes con menores costes de fabricación. Los núcleos sólidos de espuma de poliuretano tienen potencial porque aumentan significativamente la rigidez sin añadir peso adicional.
- **Eléctrico:** Fabricación de alternadores con imanes permanentes, imanes con tierras raras, mejoras en diseño y fabricación de alternadores y armado de bobinas, además realizar mejoras en seguridad y estándares eléctricos, almacenamiento de energía y electrónica de potencia. Creación de nuevos materiales tales como transistores de efecto de campo de nitruro de silicio.

La Plataforma Tecnológica Europea para la energía eólica (European Commission, 2014) menciona los siguientes retos:

- Desarrollo de modelos aerodinámicos y herramientas de simulación para turbinas eólicas de gran tamaño.
- Incrementar la confiabilidad y tiempo de vida de los componentes a través de lograr un mayor aprendizaje de los diseño de cargas, mejora en la caracterización de las propiedades de materiales y su relación con los procesos de manufactura, además del desarrollo de métodos para la verificación de los diseños de carga y fortaleza estructural.

- Desarrollo de nuevos generadores de baja velocidad con materiales alternativos a las tierras raras que sean más ligeros y de bajo mantenimiento.

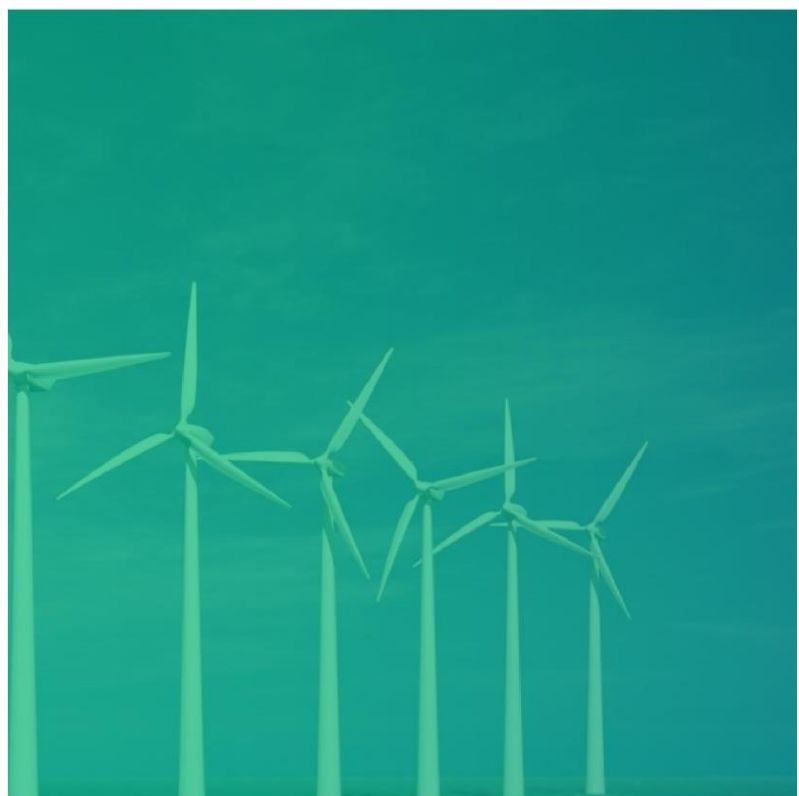
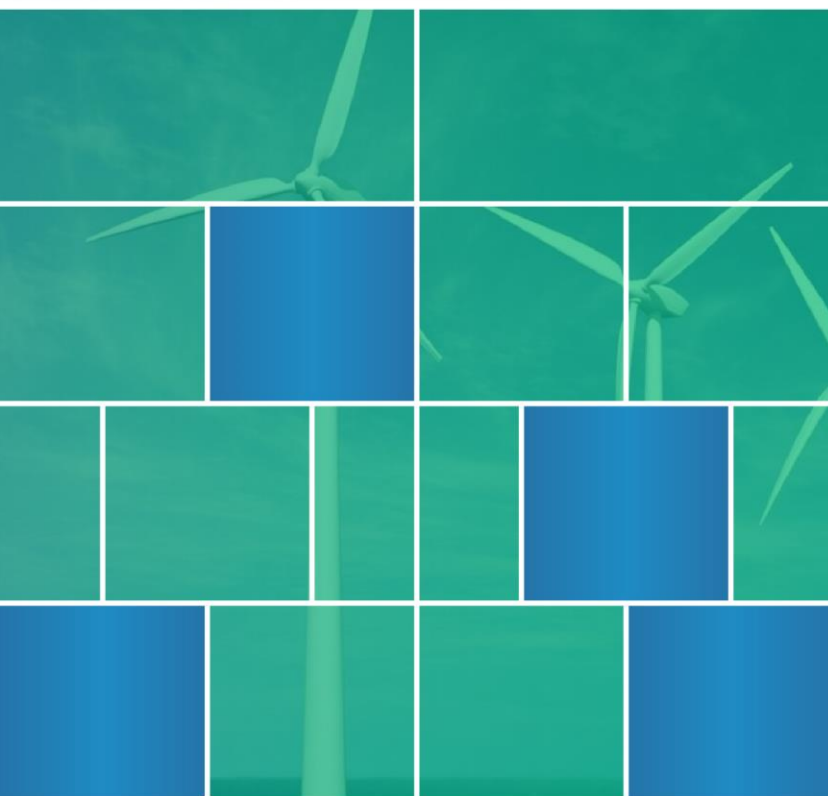
Por su parte la oficina de eficiencia energética y energías renovables de Estados Unidos (Office of energy efficiency and renewable energy, 2017b), señala los siguientes retos de la energía eólica:

- La energía eólica aún debe competir con las fuentes convencionales, sobre una base de costos. A pesar de que el costo de la energía eólica ha disminuido en los últimos diez años, la tecnología requiere de una mayor inversión inicial que los generadores de combustibles fósiles.
- Los buenos sitios de viento frecuentemente se encuentran en ubicaciones remotas, lejos de donde se necesita la electricidad. Las líneas de transmisión deben construirse para llevar la electricidad del parque eólico a la ciudad. Sin embargo, es necesario optimizar las líneas de transmisión para reducir el costo de la energía.
- El desarrollo de recursos eólicos podría no ser el uso más rentable de la tierra.
- Las turbinas pueden causar ruido y contaminación estética.
- Las palas podrían dañar la fauna local. Las aves han sido asesinadas volando en hélice de turbina. La mayoría de estos problemas se han resuelto o reducido mediante el desarrollo tecnológico o la ubicación adecuada de las plantas eólicas.

5.2 Barreras

El mapa de ruta de energía eólica de la Asociación Internacional de Energía identifica las siguientes barreras (IEA, 2013):

- Retraso en la autorización de permisos.
- Altos costos de los procedimientos administrativos y de conexión a la red.
- Prolongada aprobación de las evaluaciones de impacto ambiental.
- Problemas en el cumplimiento de la planificación espacial.
- Cantidad muy alta de actores involucrados.
- Falta de información sobre la capacidad de conexión a la red.
- Falta de planificación para la ampliación de la red.
- Problemas de propiedad de la tierra.
- Falta de financiamiento ya que para muchas instituciones financieras, es un área desconocida.
- Inestabilidad política y regulatoria.
- Miedo de los mercados a la aplicación por parte de los gobiernos de políticas retroactivas que pongan en riesgo la inversión.
- El incremento en la escala y complejidad de proyectos innovadores, crea una percepción de alto riesgo, lo que restringe las inversiones.
- Falta de capital para apoyar este creciente sector.



6.

ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

6 Estado actual de la investigación y desarrollo tecnológico

Se realizó un análisis bibliométrico que incluyó publicaciones por año, autores, instituciones, países y tipo de documentos empleando los datos de publicaciones contenidas en las bases Engineering Village¹ y Questel IP Business Intelligence². Se probó una variedad de estrategias de búsqueda para obtener las publicaciones y patentes más relevantes sobre los temas que se analizan.

La bibliometría es la aplicación del análisis cuantitativo y estadístico a publicaciones para evaluar el desempeño de la investigación (Thomson Reuters, 2008). Por ello, efectuar una bibliometría permite identificar información relevante sobre un tema (autores, instituciones, países, etc.) para entender el pasado, prever el futuro y apoyar el proceso de toma de decisiones. Similarmente, el estudio de patentes es valioso para el análisis competitivo y de tendencias de la tecnología (Daim, Rueda, Martin, & Gerdri, 2006).

Las publicaciones consultadas versaron sobre temas de investigación en operación y mantenimiento de plantas eólicas, sistemas de información eólicos y evacuación de energía de plantas; las búsquedas se hicieron en artículos publicados en el período del 2007 al 2017. Y para la búsqueda de patentes se definió el período del 2006 al 2016, ubicando las patentes registradas en las tecnologías: operación y mantenimiento, sistemas de información y evacuación de energía en plantas de energía eólica.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del estudio bibliométrico de los temas de mantenimiento de plantas eólicas, sistemas de información eólicos y evacuación de energía de plantas.

6.1 Operación y mantenimiento de plantas eólicas

En la consulta a las publicaciones relacionadas con operación y mantenimiento en los últimos diez años, se encontraron 372 documentos, en la figura 25, se puede apreciar que las publicaciones se conforman principalmente de artículos publicados en conferencias y revistas arbitradas.

¹ Base de datos de resúmenes y citas que contiene publicaciones como revistas científicas, libros y registros de conferencias de distintos temas (Elsevier, 2016).

² Base de datos que contiene información de 100 oficinas de propiedad intelectual (Questel, 2011).

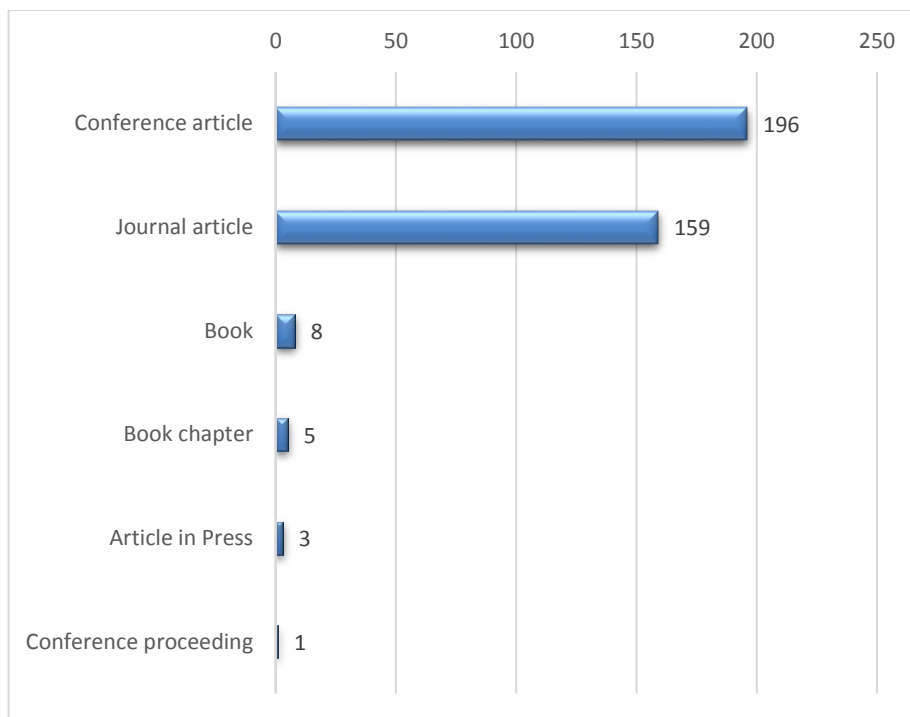


Figura 25. Tipos de documentos publicados referente a operación y mantenimiento de plantas eólicas 2007-2017

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

El número de documentos publicados relacionados con la operación y mantenimiento de plantas eólicas mostró un comportamiento creciente en el período 2007-2015, pero puede notarse que en los últimos dos años esta tendencia se invierte. (Ver figura 26).



Figura 26. Documentos publicados por año referente a operación y mantenimiento de plantas eólicas.

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

Por otra parte, los temas relacionados con componentes eléctricos, costos y monitoreo de condiciones destacan como los de mayor frecuencia en los documentos analizados (ver figura 27). Asimismo, destacan temas como optimización, confiabilidad, inversión y análisis de costo beneficio.

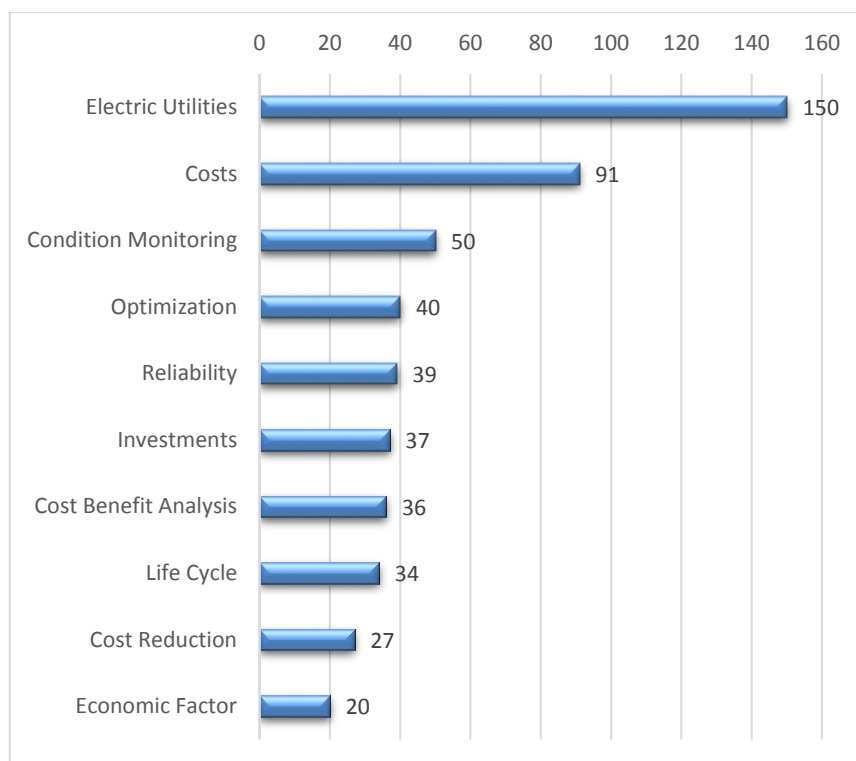


Figura 27. Términos frecuentes en documentos relacionados con la operación y mantenimiento de plantas eólicas.

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

Con respecto a los países con mayor número de publicaciones destacan Reino Unido y Estados Unidos con 64 y 57 artículos respectivamente, le siguen en la lista China, Noruega y Alemania. Cabe hacer mención que de acuerdo con la base de datos de artículos técnicos consultados, México no figura con publicaciones en este tema (ver figura 28).

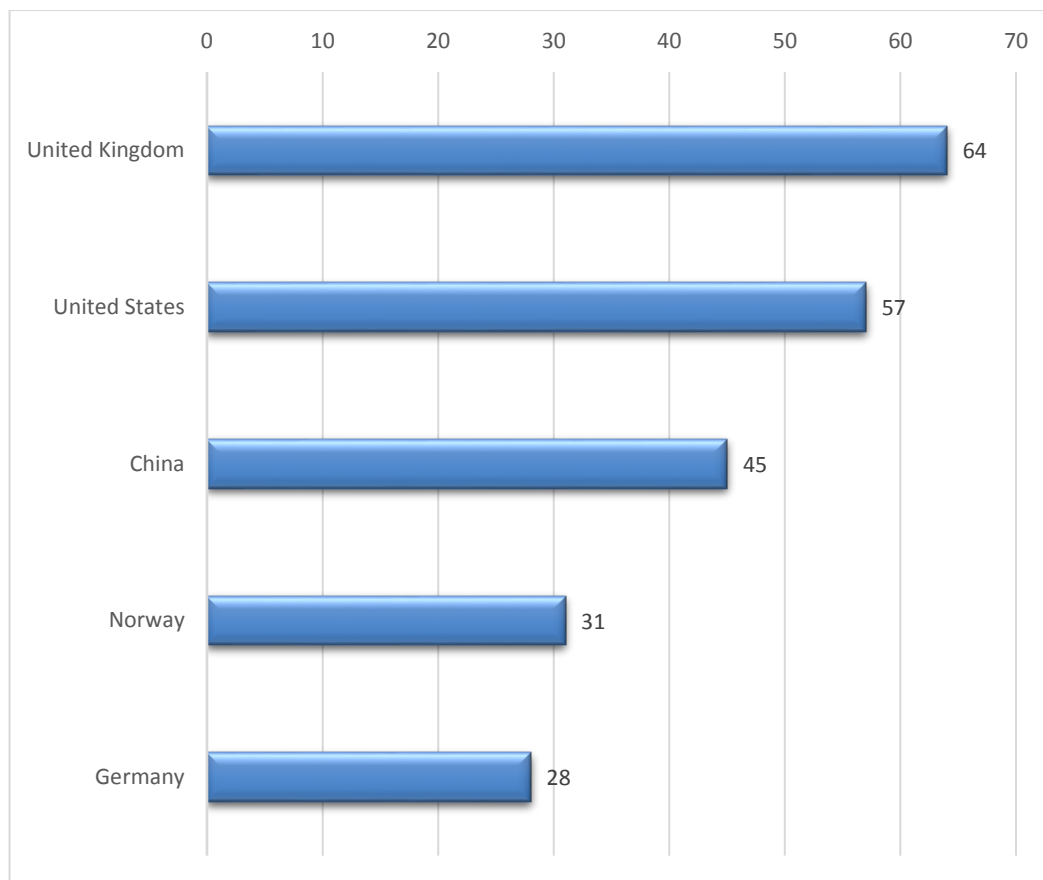


Figura 28. Países con mayor número de publicaciones relacionados con la operación y mantenimiento de plantas eólicas.

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

En lo que respecta a los registros de patentes (figura 29), se observa que tres organizaciones chinas son las que encabezan este listado. En primer lugar aparece la compañía State Grid Corporation de China con 106 registros, le siguen el instituto de Investigación de Energía Eléctrica de China y la Universidad de la Energía Eléctrica de China del Norte con 31 y 28 registros respectivamente.

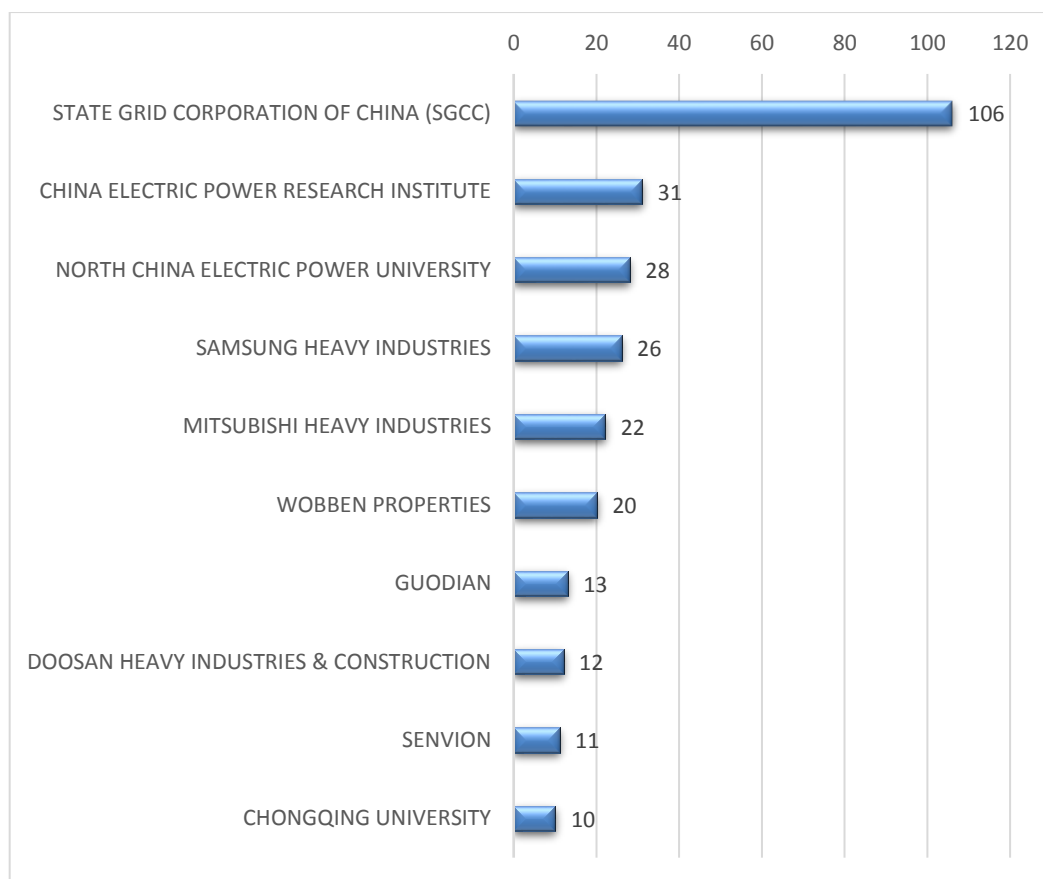


Figura 29. Organizaciones con mayor número patentes relacionadas con la operación y mantenimiento de plantas eólicas

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

En relación a los investigadores con mayor número de artículos publicados en el tema de operación y mantenimiento, destaca el noruego Jayantha Prasanna Liyanage, quien pertenece a la Universidad de Stavanger, seguido por Idriss El-Thalji de la misma universidad. Este último trabaja actualmente en el proyecto "Sistema de mantenimiento inteligente basado en modelado y simulación en la industria" (ver figura 30).

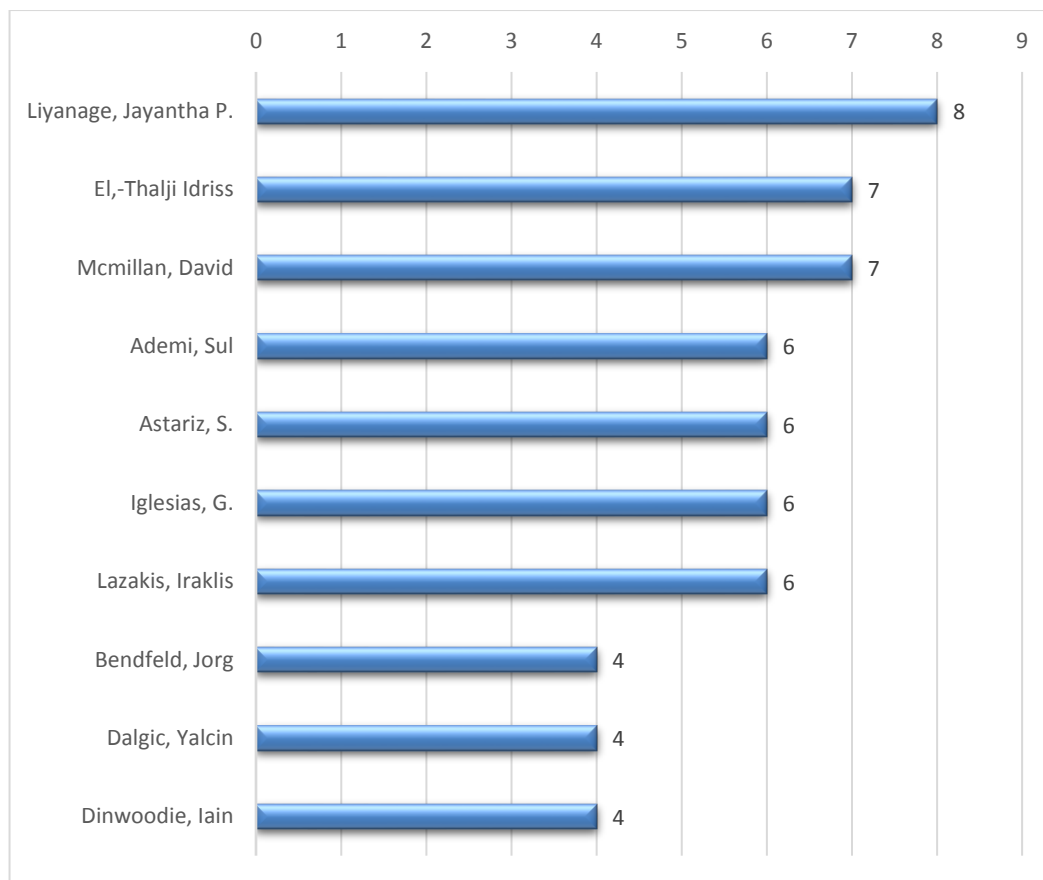


Figura 30. Investigadores con más documentos publicados relacionados con la operación y mantenimiento de plantas eólicas.

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

6.2 Sistemas de información para la operación de plantas eólicas

En la consulta a las publicaciones relacionadas con operación de plantas eólicas, en los últimos diez años, se encontraron 162 documentos, en la figura 31, se puede apreciar que las publicaciones se conforman principalmente de artículos publicados en conferencias y revistas arbitradas. Lo que indica que los documentos son generalmente reportes técnicos y de investigaciones presentados en congresos o publicaciones de revistas especializadas.

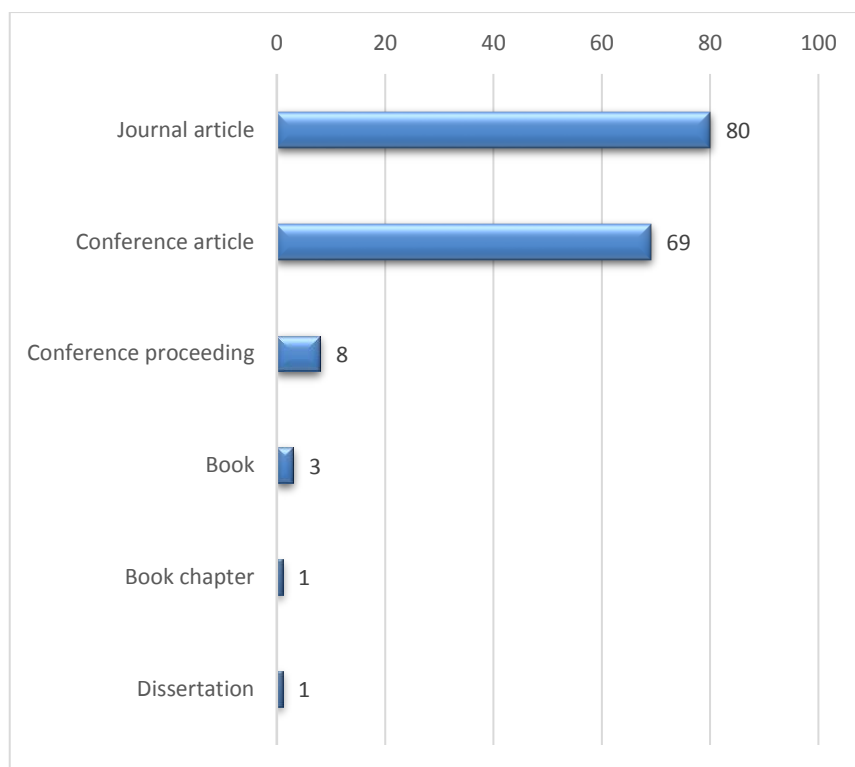


Figura 31. Tipos de documentos publicados referente a operación y mantenimiento de plantas eólicas 2007-2017

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

Como puede observarse en la figura 32, se observa una tendencia hacia la disminución de publicaciones en este tema.



Figura 32. Documentos publicados por año en sistemas de información para la operación de plantas eólicas.

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

Por otra parte, los temas relacionados con sistemas de información geográfica, turbinas eólicas, toma de decisiones y fenómenos meteorológicos, destacan como los de mayor interés en los documentos de investigación analizados (ver figura 33).

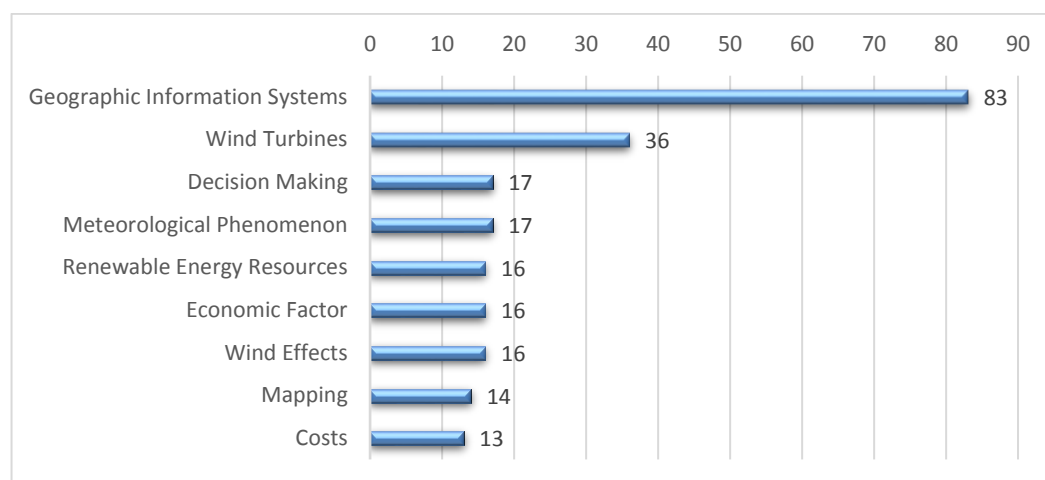


Figura 33. Términos frecuentes en documentos relacionados con sistemas de información para la operación de plantas eólicas.

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

Con respecto a los países con mayor número de publicaciones destacan China e India con 37 y 19 artículos respectivamente, le siguen en la lista Estados Unidos, Alemania y Francia (ver figura 34).

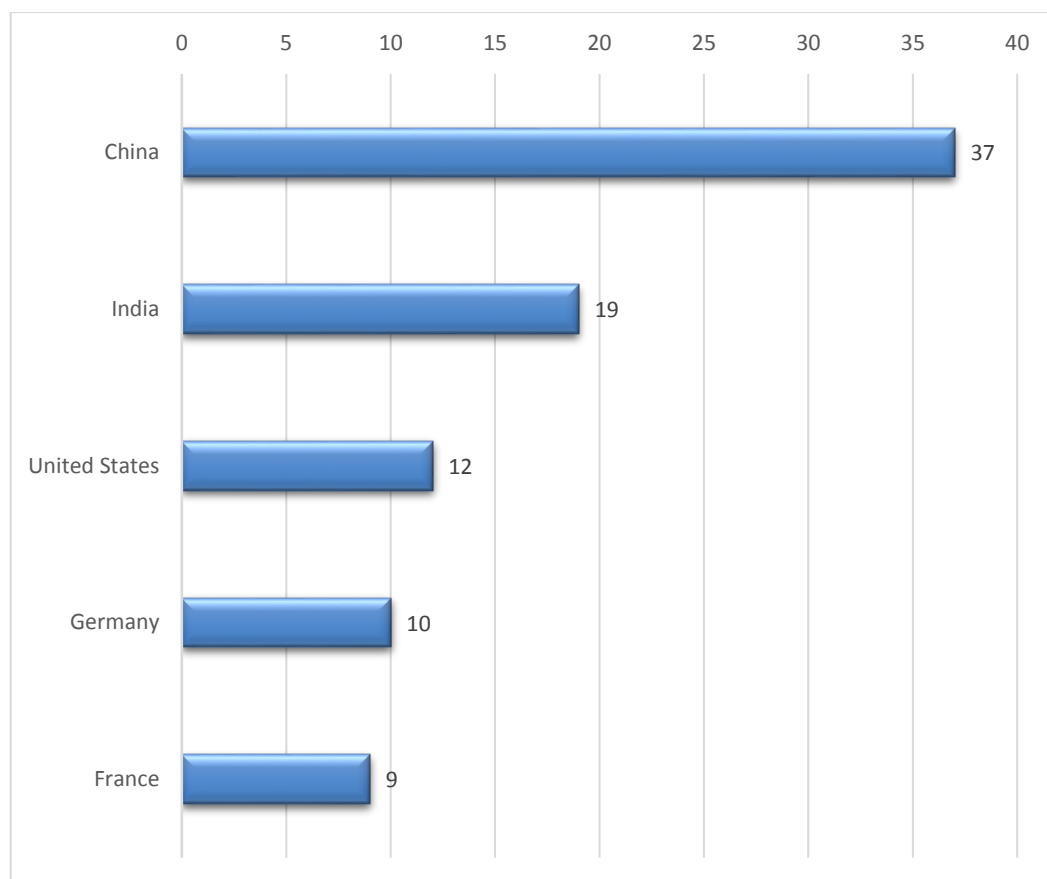


Figura 34. Países con mayor número de publicaciones relacionadas con sistemas de información para la operación de plantas eólicas

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

En la consulta de países con mayores registros de patentes de sistemas de información para la operación de plantas eólicas mostrado en la figura 35, se puede observar que China, es el país con más registros de patentes de tecnologías relativas a sistemas de información eólicos. Además en esta lista se encuentran los países asiáticos Corea del Sur y Japón con 11 y 7 registros respectivamente.

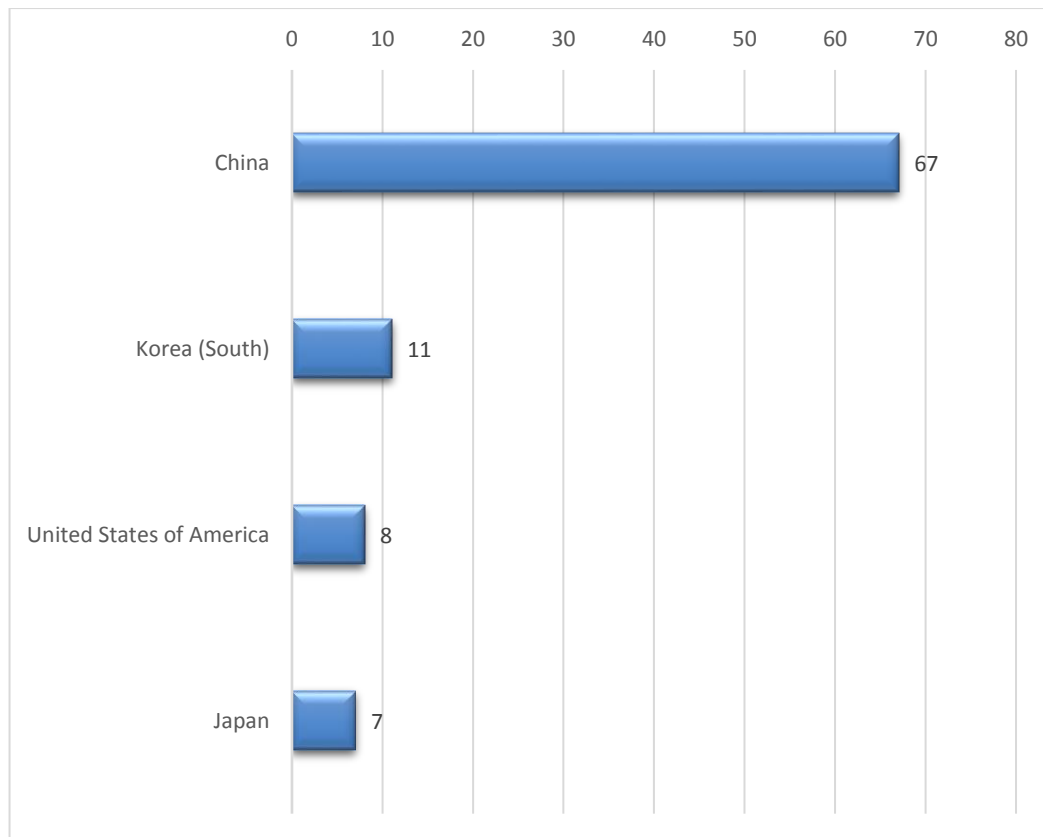


Figura 35. Organizaciones con patentes registradas relacionadas con sistemas de información para la operación de plantas eólicas

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

Asimismo se efectuó una búsqueda de las organizaciones e institutos de investigación con mayor actividad en publicaciones, destacando la Universidad de Malasia con 9 publicaciones, seguida de la Universidad del Petróleo Deendayal Pandit y la Universidad pública en Jaén (ver figura 36).

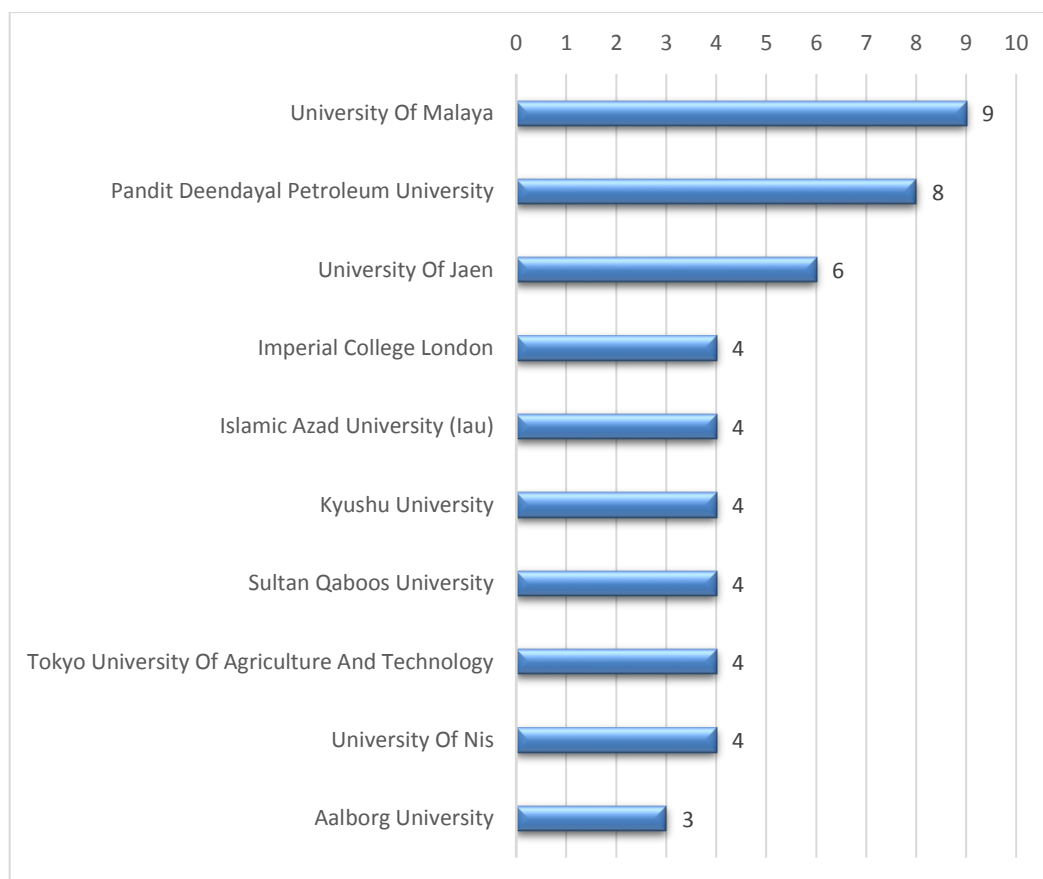


Figura 36. Organizaciones con el mayor número de publicaciones relativas a sistemas de información para la operación de plantas eólicas

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

El listado de las organizaciones con más registros de patentes lo encabeza la compañía State Grid Corporation de China. Es importante resaltar que las seis compañías que encabezan la gráfica son organizaciones chinas (ver figura 37).

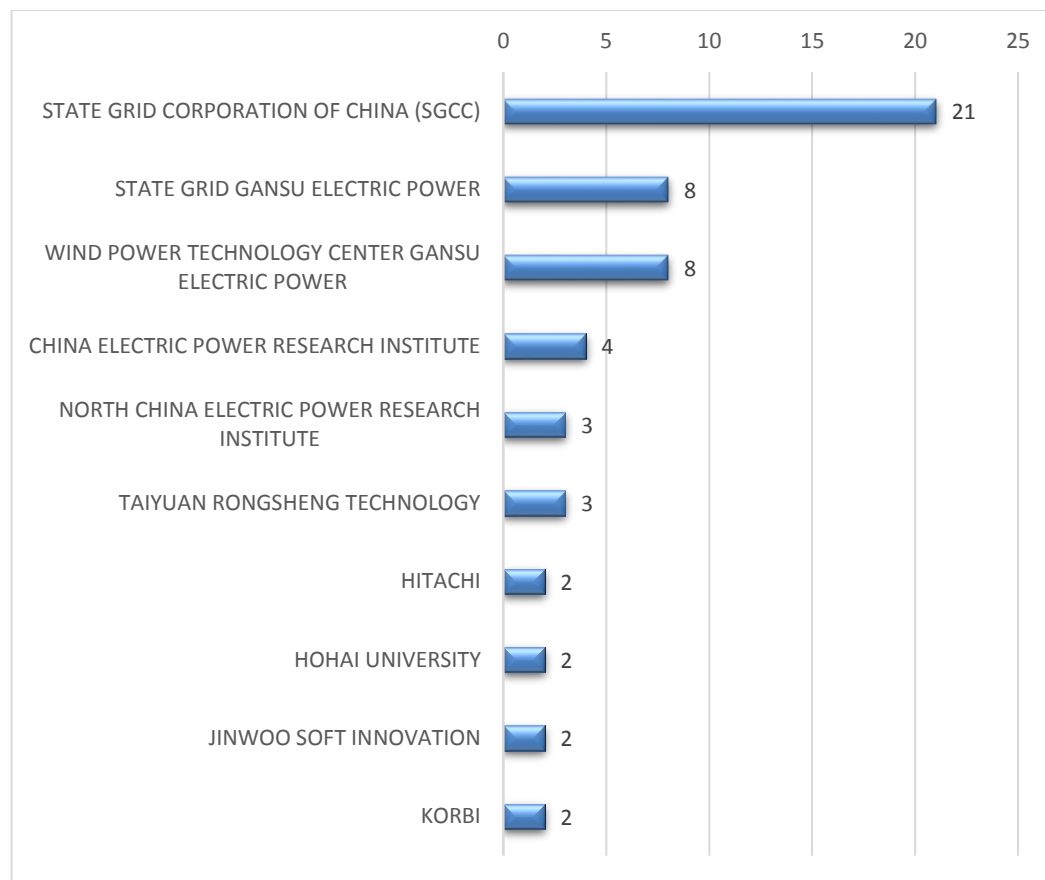


Figura 37. Organizaciones con patentes registradas relacionadas con sistemas de información para la operación de plantas eólicas

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

En relación a los investigadores con mayor número de artículos publicados en el tema, destacan los hindúes Surendra Singh Kachhwah, Garlapati Nagababu y Vimal Savsani quienes pertenecen al grupo de investigadores de la Universidad del Petróleo Pandit Deen Dayal (ver figura 38).

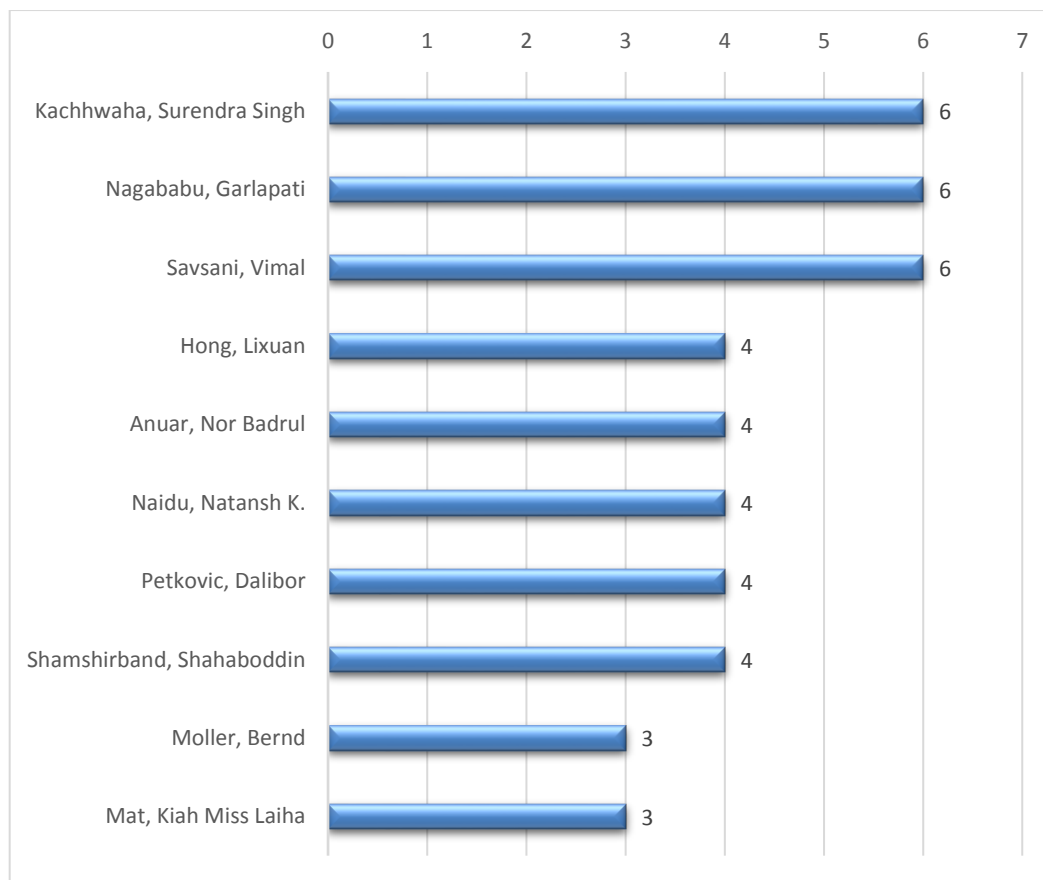


Figura 38. Investigadores con más documentos publicados relacionados con sistemas de información para la operación de plantas eólicas.

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

6.3 Evacuación de energía en plantas eólicas

En la consulta a las publicaciones de los últimos diez años relacionadas con la evacuación de energía en plantas eólicas, se encontraron solo 11 documentos. (ver figura 39).

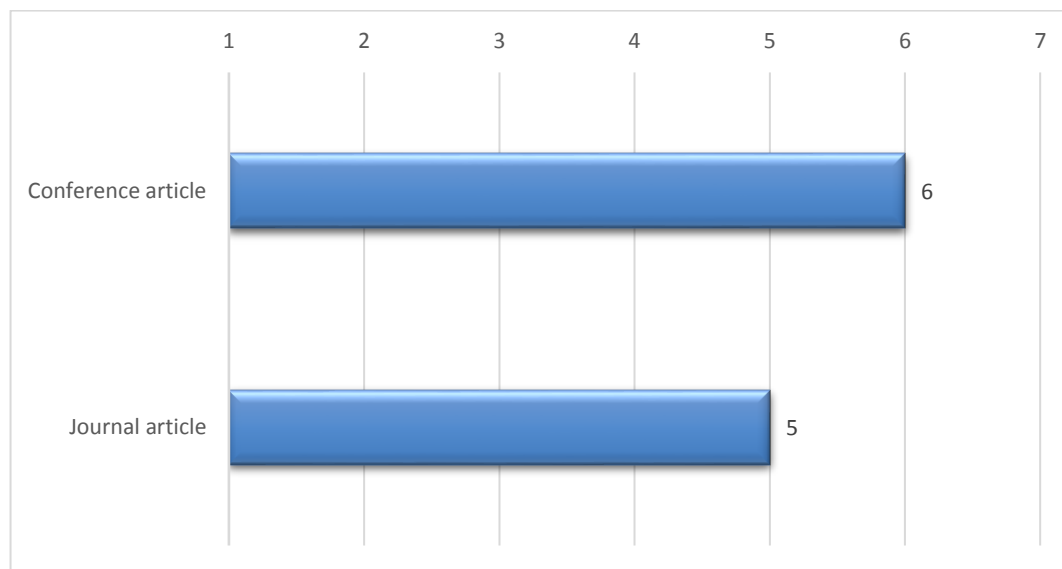


Figura 39. Tipos de documentos publicados sobre evacuación de energía en plantas eólicas 2007-2017

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

En la figura 40 se presentan las publicaciones anuales de documentos relacionados con la evacuación de energía de plantas eólicas; a nivel global, y de acuerdo al comportamiento del gráfico, es prácticamente el año 2013 el año en que se comenzaron a visualizar publicaciones relativos a este tópico, además solamente se han realizado 6 publicaciones en los últimos 4 años.



Figura 40. Documentos publicados por año referente a la evacuación de la energía en plantas eólicas.

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

Por otra parte, los temas relacionados con redes de transmisión, instalaciones eléctricas y convertidores de energía destacan como los de mayor interés en los documentos de investigación analizados (ver figura 41).

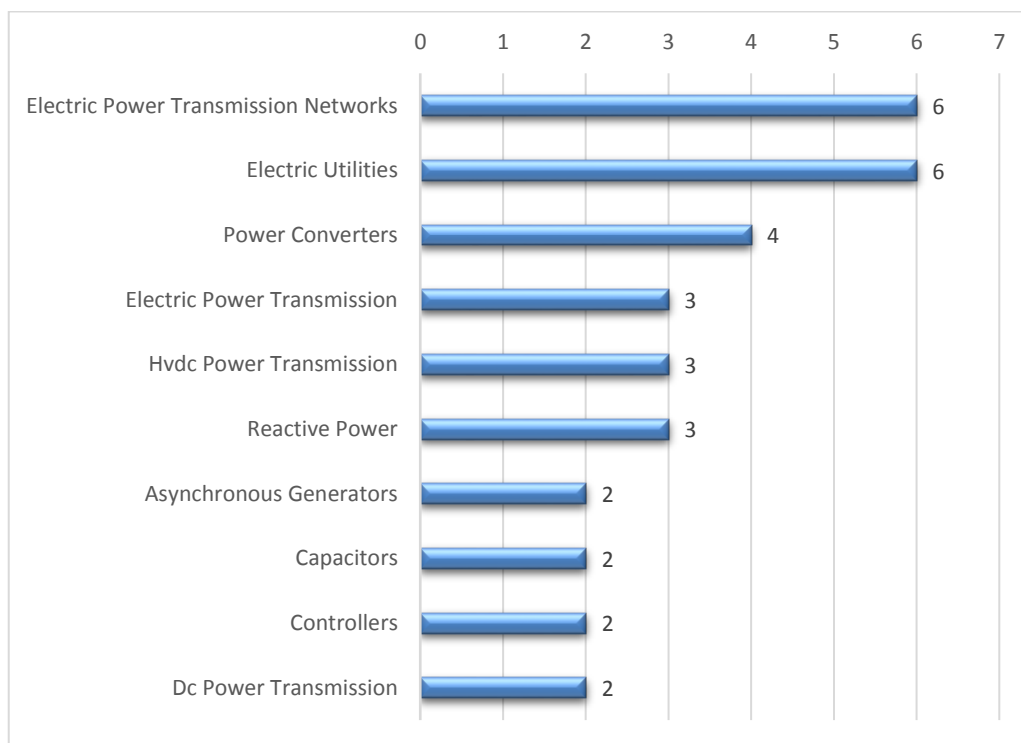


Figura 41. Términos frecuentes en documentos relacionados con la evacuación de la energía en plantas eólicas.

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

Con respecto a los países con mayor número de publicaciones destacan India y Emiratos Árabes Unidos, le siguen en la lista Egipto y Marruecos (ver figura 42).

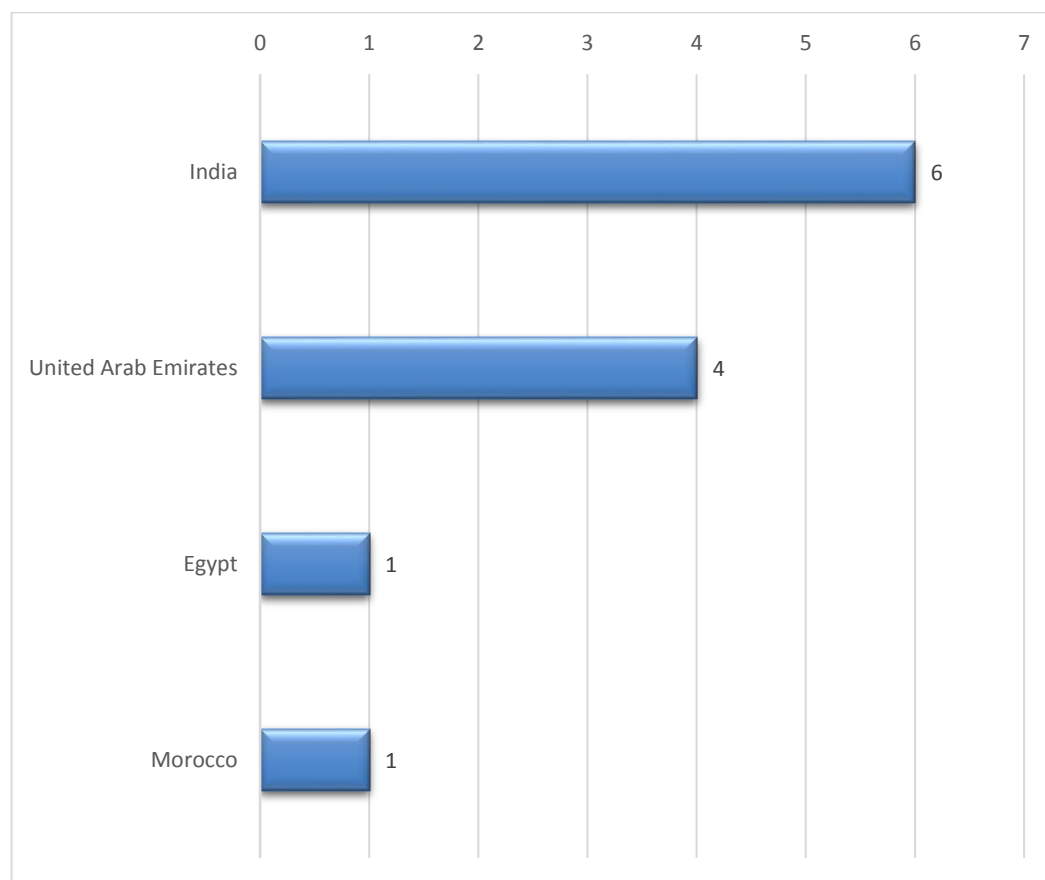


Figura 42. Países con mayor publicación de documentos relacionados con la evacuación de la energía en plantas eólicas

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.

Asimismo se efectuó una búsqueda de las instituciones de investigación con mayor actividad en publicaciones, destacando Instituto de Ciencia y Tecnología Masdar de los Emiratos Árabes, le sigue en la lista el Instituto de Tecnología Vellore de India (ver figura 43).

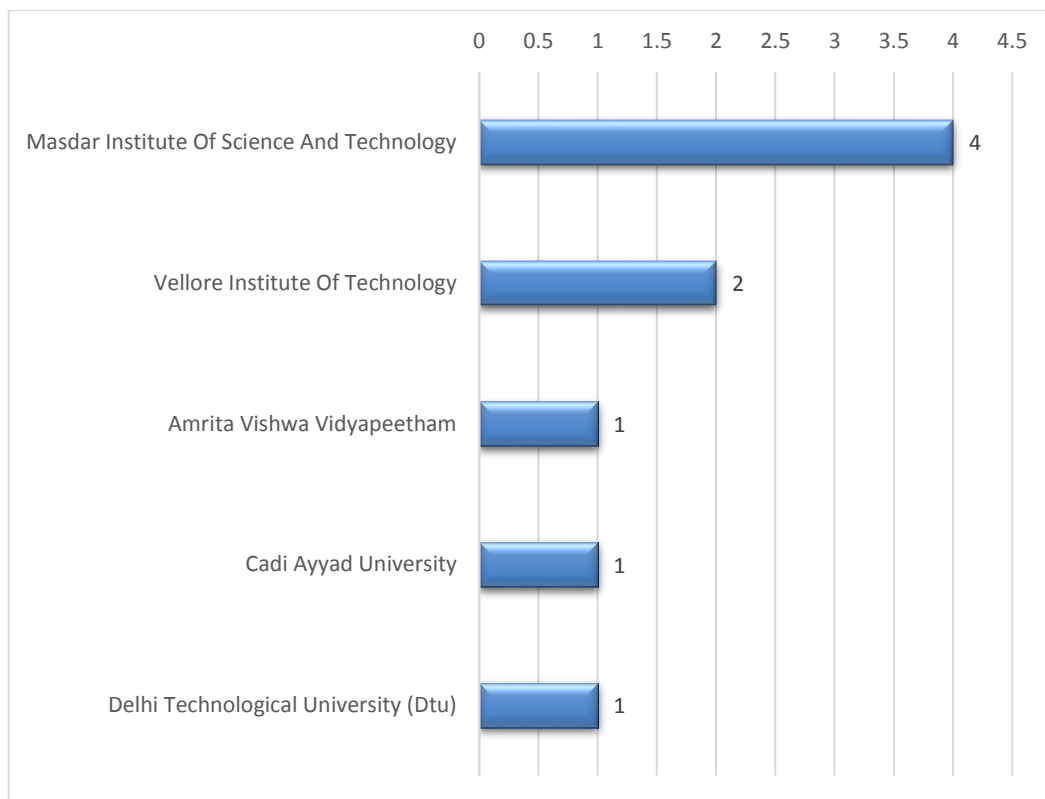
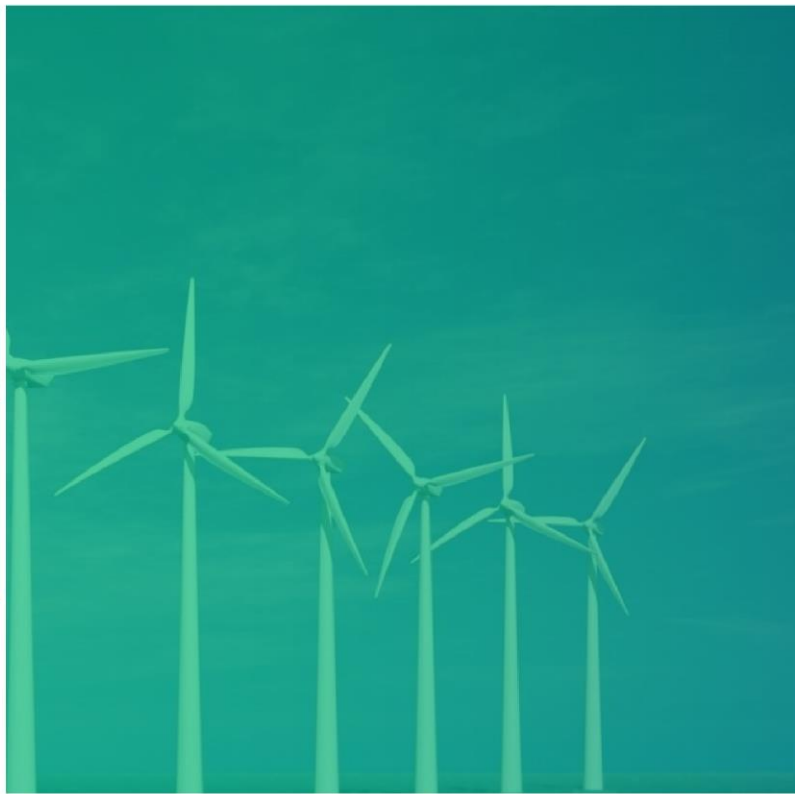
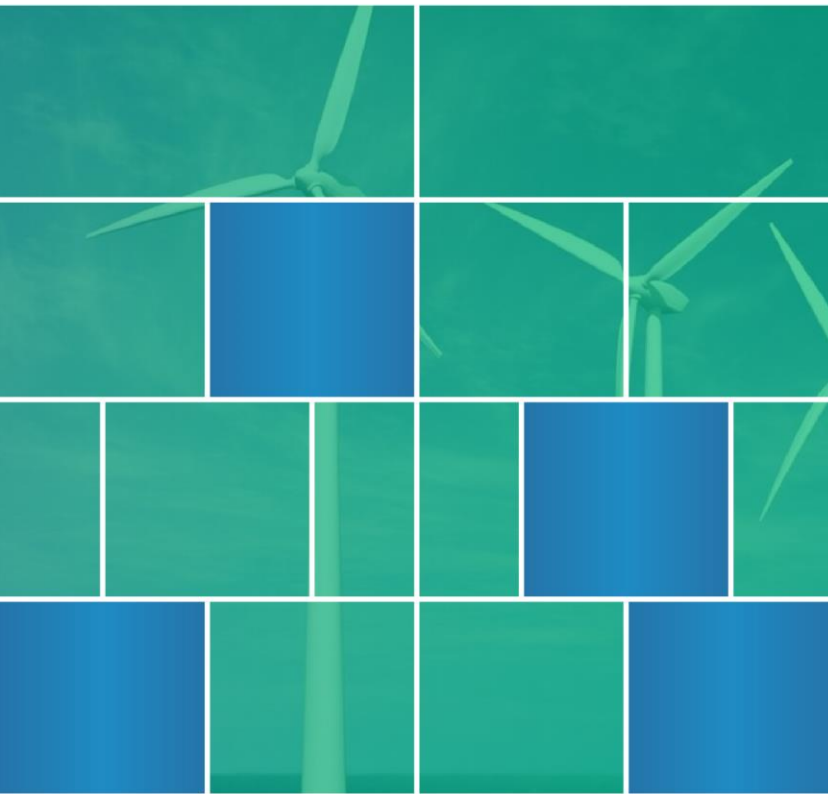


Figura 43. Organizaciones con el mayor número de documentos publicados relativos a la evacuación de la energía de plantas eólicas.

Fuente: Estudio bibliométrico, octubre 2017.



REFERENCIAS

Referencias

- AMDEE, PWC. (2017). *El potencial eólico mexicano. Oportunidades y retos en el nuevo sector eléctrico*. Obtenido de AMDEE: www.amdee.org
- Daim, T. U., Rueda, G., Martin, H., & Gerdtsri, P. (2006). Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 981-1012. doi:10.1016/j.techfore.2006.04.004
- DOF. (24 de 12 de 2015). Ley de Transición Energética. *Diario Oficial de la Federación*.
- European Commission. (2014). *Overcoming research challenges for Wind Energy*. European Union.
- IEA. (2013). *Technology Roadmap Wind Energy*. París: IEA.
- IEA-ETSAP, IRENA. (1 de diciembre de 2017). www.irena.org/publications/2016/Mar/Wind-Power. Obtenido de Irena International Renewable Energy Agency: http://www.iea-etsap.org/Energy_Technologies/Energy_Supply.asp
- INECC & Boston Strategies International. (2016). *Estudios de Cadenas 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 (Vol. 685698)*. 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.
- IRENA. (2017). *REthinking Energy 2017*. *ASHRAE Journal* (Vol. 55), Abu Dhabi.
- Islam, M., Mekhilef, S., & Saidur, R. (2013). Progress and recent trends of wind energy technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 456-468. Obtenido de *Renewable and Sustainable Energy Reviews*: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.007>
- 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>

Office of Energy Efficiency and Renewable Energy . (1 de diciembre de 2017). *The inside of a wind turbine*. Obtenido de <https://energy.gov/eere/wind/inside-wind-turbine-0>

Office of energy efficiency and renewable energy. (2017b). *Advantages and Challenges of Wind Energy*. Obtenido de <https://energy.gov/eere/wind/advantages-and-challenges-wind-energy>

REN 21. (2017). *Renewables global futures report 2017*. París: REN21.

Saltiello, M., Tadeo, P., & Sánchez, L. (2017). *La energía eólica y el nuevo mercado mexicano*. México.

SENER. (2014a). *Estrategia Nacional de Energía 2014-2028*. México: SENER.

SENER. (2014b). *Prospectiva de Talento del Sector Energía*. México: SENER.

SENER. (2015a). *Prospectiva de Energías Renovables 2015-2029*. Mexico: SENER. Recuperado el 01 de 01 de 2016, de https://www.gob.mx:https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44328/Prospectiva_del_Sector_Electrico.pdf

SENER. (2015b). *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_Energias_Renovables_2015_-_2029_VF_22.12.15.pdf

SENER. (2017a). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2017-2031*. Ciudad de México: SENER.

SENER. (2017b). *Reporte de avance de energías limpias 2016*. Ciudad de México: SENER.

SENER-CFE. (2015). *Atlas de Zonas con Energías Limpias*. Obtenido de <https://dgel.energia.gob.mx/azel/>

Small Wind Innovative Project. (2017). *Aesthetic noise and vibration*. Obtenido de http://swipproject.eu/?page_id=12073

Thomson Reuters. (2008). *Using Bibliometrics*. Recuperado el 07 de 2016, de A guide to evaluating research performance with citation data: http://ip-science.thomsonreuters.com/m/pdfs/325133_thomson.pdf

WWEA. (2017). *WWEA Half-year Report 2016*.

