



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA QUÍMICA – INNOVACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE LA
TECNOLOGÍA

PLANTAS DE ENERGÍA EÓLICA:
ALTERNATIVA VERDE PARA LA GENERACIÓN MASIVA DE ENERGÍA
ELÉCTRICA

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
JUAN ANTONIO SALAZAR ACEVEDO

TUTOR PRINCIPAL:
DRA. NYDIA GUADALUPE LARA ZAVALA
División de Ciencias Sociales y Humanidades - Facultad de Ingeniería

MÉXICO, D. F. OCTUBRE, 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Durán Moreno Alfonso
Secretario: M. I. Ortiz Ramírez José Antonio
Vocal: M. C. Morales Lechuga Víctor Manuel
1er. Suplente: Dra. Monroy León Cozumel Allanec
2do. Suplente: Dra. Lara Zavala Nydia Guadalupe

Lugar donde se realizó la tesis: México, D.F.

TUTOR DE TESIS:

Dra. Lara Zavala Nydia Guadalupe



FIRMA



ÍNDICE

Introducción	04
• Energías renovables, cambio climático y el Protocolo de Kioto	05
• Energía eólica hoy	06
• Planteamiento del problema	07
• Hipótesis	08
• Límites y alcances de la investigación	09
• Objetivo general	09
• Metodología	09
CAPÍTULO I	
Panorama histórico de la utilización de la energía eólica	11
• Utilización del viento desde la antigüedad hasta la crisis mundial del petróleo en 1973	11
• Utilización de la energía eólica después de la crisis energética (1979)	21
• Energía eólica en México	22
• Necesidad de energía eléctrica a futuro	23
CAPÍTULO II	
Acercamiento a la energía eólica; conceptos básicos	25
• Energía eólica	25
• Generador eólico	26
• Partes básicas de un aerogenerador	26
• Generadores eólicos onshore	28
• Generadores eólicos offshore	28
• Generadores eólicos nearshore	29



• Ventajas y desventajas en el uso de energía eólica	29
• Evolución de los aerogeneradores	31
CAPÍTULO III	
Breve análisis del consumo de energía a nivel mundial	34
• Consumo mundial de energía	34
• Incremento en el consumo de energía per cápita	37
• Consumo de energía y grado de industrialización	39
• Conciencia social sobre el ambiente	41
• Conciencia social sobre el consumo de energía	42
• Energía y ambiente: nuevo paradigma	43
• Generación de energía frente al ambiente	45
• Acciones para reducir el impacto ambiental de la producción de energía	50
CAPÍTULO IV	
Energía eólica a nivel mundial	53
• Países líderes en la producción de energía eólica onshore (tierra)	53
• Acciones de consolidación de los países líderes	57
• Energía eólica marina en el mundo	69
CAPÍTULO V	
Análisis del sector energético mexicano y del uso de tecnología eólica para la producción de energía en el país	75
• Sector energético mexicano	75
• Análisis de la reforma energética 2013	79
• Premisas de planeación	86
• Consideraciones finales del plan	113



CONCLUSIONES	115
SUGERENCIAS PARA TRABAJOS A DESARROLLARSE A FUTURO	118
ANEXO 01 - Caso de estudio: Energía eólica en México	119
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE CONSULTA	150



INTRODUCCIÓN

La utilización de la energía eólica, a simple vista, parecería que se trata de algo novedoso. Empero, no es algo reciente. En realidad, es una de las energías más antiguas usadas por la humanidad junto con la energía térmica. Desde el principio de los tiempos, los hombres utilizaron los vientos tanto para mover sus embarcaciones como para mover los molinos de viento para poder moler cereales y granos o para bombear agua.

Con la llegada de la electricidad a finales del siglo XIX, los primeros aerogeneradores se basaron en la forma y el funcionamiento de los molinos de viento. Aunque, en realidad, la generación de electricidad a través de aerogeneradores no siempre ha jugado un gran papel. Fue a partir de los ochenta del siglo pasado, cuando este tipo de energía limpia obtuvo un verdadero impulso. A partir de entonces la energía eólica ha crecido de forma imparable en el siglo XXI. Actualmente es la segunda fuente de energía renovable en la producción de electricidad en el mundo después de la hidráulica. En la actualidad, esta energía es la que ha tenido mayor crecimiento con una tasa anual de 28% en los últimos 10 años, lo que refleja sus amables características.

Con la primera crisis del petróleo en los años 70, y sobre todo a partir de los movimientos contra la energía nuclear en los años 80 en Europa, se despertó el interés en energías renovables. Se buscaron nuevos caminos para explotar los recursos de la Tierra tanto ecológicamente como rentables económicamente. Lo anterior derivó en la implantación de políticas energéticas encaminadas a disminuir el consumo de petróleo mediante el ahorro energético, la eficiencia energética y potenciar otras fuentes como el gas natural o las energías renovables tales como la solar térmica, solar fotovoltaica, mini hidráulica, geotérmica y eólica.

Desde entonces, la energía eólica ha tenido un despegue que se puede calificar de espectacular, instalándose, con el tiempo, numerosos parques eólicos para producción de electricidad a gran escala en muchos países; lo cual indica que, sin lugar a dudas, la energía eólica ha sido la que mejores avances ha mostrado a lo largo de su historia aun cuando se enfrentó a inconvenientes tales como el hecho de que los aerogeneradores de aquella época eran demasiado caros; el elevado precio de la energía que se obtenía a través de ellos era, pues, un argumento suficiente para estar en contra de su construcción.

A pesar de esto, algunos gobiernos promovieron la energía eólica en forma de programas de investigación y de subvenciones, la mayoría aportadas por los propios gobiernos regionales. Así se crearon institutos de investigación como el Instituto Alemán de la Energía Eólica (*DEWI*) o el Instituto de Investigación Danés (*Risø*), que poco a poco han llevado a cabo una estandarización de las instalaciones y de los métodos de seguridad, lo que ha logrado y sigue logrando un mejor rendimiento económico de las instalaciones. Los altos costes de generación de electricidad a partir del viento se redujeron considerablemente en 50% en 1981 con el desarrollo de un aerogenerador de 55 kW. Muchas organizaciones ecológicas consideran la energía eólica una de las fuentes de energía más económicas, aun si incluimos los costes externos de su generación (*por ejemplo, los daños del medio ambiente*).



Los aerogeneradores modernos producen actualmente una parte importante de la energía eléctrica mundial. Alemania, Estados Unidos y España son los tres países con más energía eólica instalada del mundo.

¿Qué pasa en México? No hace mucho tiempo, el pensar en energía eólica en el país consistía prácticamente en una amenaza a la estabilidad energética. No se hablaba entonces del cambio climático ni de la emisión de gases de efecto invernadero. Había, sin embargo, algunos soñadores que apostaron al desarrollo eólico en nuestro país y que tuvieron que esperar incluso años para que México cambiara y empezara a creer en las energías renovables. Mientras tanto, la energía eólica en los países desarrollados crecía a un ritmo impresionante. Se instalaban miles de Mega Watts (*MW; un millón de Watts*) por año, las fábricas de aerogeneradores tenían sus plantas al tope y había largas listas de espera para adquirir equipos.

Pero en México las cosas se tomaban con calma. Hasta 1994 se lanza el primer proyecto piloto a cargo de la Comisión Federal de Electricidad, para instalar 1.5 MW en una de las regiones con mayor viento del mundo: un lugar hoy conocido como “La Ventosa”, en el estado de Oaxaca. Pasaron solamente 12 años para poder ver en 2006 el segundo parque eólico en la misma región y el primero de gran escala. Se instalaron 85 MW en el parque denominado 'La Venta II', que también estuvo a cargo de la CFE. Para el año 2011, México ya contaba con una capacidad instalada en operación de 518.70 MW de energía eólica: ocho proyectos se desarrollaron en Oaxaca; con una capacidad de 508.70 MW y uno en Baja California con 10 MW de capacidad (*AMDEE; 2011*).

El gobierno mexicano, pese a que no existe reporte oficial al respecto, estima el potencial de energía eólica del país en alrededor de 71 GW, tomando en cuenta el 10% del potencial del área total de 22 de los 32 estados, incluyendo sitios con factores de capacidad mayores a 20%. Para factores de capacidad más altos (más de 30%), el potencial estimado es de alrededor de 11 GW (*Global Wind Report, 2011*). Independientemente de las regiones donde existan vientos potencialmente aprovechables, la estimación anterior es bastante interesante puesto que se habla de una cantidad de energía nada despreciable y que puede significar una oportunidad muy importante de generar energía a partir de un recurso renovable

Energías renovables, cambio climático y el Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático tiene su cuna en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (*CMNUCC*). Se trata de un acuerdo entre varios países adoptado en diciembre de 1997 en Kioto, Japón (*aunque no entró en vigor hasta febrero de 2005*). Su misión es la reducción de las emisiones de seis gases que, en mayor o menor grado, son los que causan el calentamiento global mediante el efecto invernadero. Estos gases son: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (*HFC*), herfluorocarbonos (*PFC*) y hexafluoruro de azufre (SF_6). En noviembre de 2009, eran 187 los países que ratificaron el protocolo aunque Estados Unidos, siendo el mayor emisor de gases de



invernadero mundial, no lo ha hecho. Lo anterior pese a que dicho país es la segunda nación con mayor capacidad eólica instalada (*46,919 MW a finales de 2011; The Wind Power*).

Energía eólica hoy

Desde hace algún tiempo, y con base en lo descrito en el protocolo de Kioto, expertos internacionales del clima y el medio ambiente llegaron a la conclusión de que la tierra se calienta y lo hace muy rápidamente. Además los recursos utilizados para la producción de energía eléctrica utilizan combustibles fósiles que en su mayoría se acaban. Por estas y otras razones de peso, actualmente ya no se puede seguir ignorando el problema medioambiental que nos rodea. Las grandes potencias parecen darse cuenta de ello y la cantidad de partículas de CO₂ emitidas se está empezando a reducir gracias a la implementación gradual de sistemas de producción de energía eléctrica a través de fuentes renovables. Esto supone un gran impulso para la utilización de energía eólica que es, dentro de todas las energías renovables, la que mayor desarrollo ha experimentado.

El desarrollo principal de la energía eólica se ha llevado a cabo fundamentalmente mediante la implementación de aerogeneradores en tierra (*onshore*) y en el mar (*offshore*), aunque de forma muy escueta en el último caso. Hoy en día son muy pocos los MW instalados en el agua. De hecho, para el año 2011, de los 237,502 MW eólicos instalados en todo el mundo, únicamente 5,338 MW corresponden a parques eólicos offshore de acuerdo a la información de Offshore Wind farms list 2010 (*The Wind Power, 2011*). La principal justificación de este hecho radica en que las instalaciones eólicas en el mar son considerablemente más caras que sus equivalentes en tierra además de que requieren de una tecnología mucho más desarrollada.

Dado que en los últimos años el fuerte crecimiento de la demanda energética mundial está creando dificultades a la hora de cumplir los objetivos de Kioto, es esencial lograr un incremento del total de MW eólicos instalados. Para conseguirlo es necesario que se lleven a cabo varias acciones de manera simultánea. Algunas de ellas son:

- establecer un marco regulatorio favorable en las zonas en las que aún no existe para estimular la inversión en este tipo de energías
- mejorar las instalaciones de la red de transmisión de energía eléctrica de manera que se aumente su capacidad de transporte
- perfeccionar la tecnología de los aerogeneradores para conseguir un mejor aprovechamiento del recurso eólico de manera que zonas en las que actualmente éstas instalaciones no son rentables, con incentivos económicos lo sean en un futuro
- realizar una mayor inversión económica en investigación y desarrollo para lograr aprender de las distintas experiencias y así promover innovaciones
- re-potenciar las instalaciones en funcionamiento (*sustituir las maquinas instaladas en parques eólicos ya existentes por otras de mayor potencia*)



- impulsar la implementación de parques eólicos offshore

La implementación de esta clase de medidas en México es fundamental, pues se ha quedado rezagado en cuanto al impulso de tecnologías sustentables se refiere; por ello, la presente tesis de posgrado se centra básicamente en la creación de una propuesta preliminar para la elaboración de un plan prospectivo e integral para desarrollo e implementación de tecnología eólica para la generación de energía eléctrica en México. La tecnología a emplearse para dicho fin, deberá ser aquella que permita elevar la participación de la energía eólica de una manera considerable dentro de la red eléctrica nacional, con lo cual México podría quedar en la vanguardia tecnológica en este campo de la energía así como atender otros aspectos importantes como es, por ejemplo, el cuidado del medio ambiente.

La propuesta a desarrollarse, aunque tiene un carácter general, tiene como base un tratamiento equilibrado de los factores técnicos, tecnológicos y de medio ambiente que se involucran en el mismo. No se pretende dar una crítica a detalle de otros aspectos tales como el social o el económico, pero no se dejan por completo de lado en algunos casos. Otro objetivo importante que se va a derivar de la presente investigación es dejar un plan fundamentado para que esta tecnología se desarrolle de manera sostenida en México.

Planteamiento del problema

México, junto con el resto del mundo, sabe que se avecina una época donde se vivirá una importante escasez de combustibles de origen fósil para la producción masiva de energía. Lo anterior viene de la mano con el hecho de que el uso indiscriminado de los combustibles fósiles ha causado un impacto negativo en el medio ambiente a escala global.

Ante tal situación, muchos países han tomado cartas en el asunto y, por consiguiente, empezaron desde hace muchos años a planificar un futuro donde la participación de los combustibles fósiles irá bajando gradualmente para darle paso a otras fuentes energéticas renovables y más amigables con el medio ambiente. Dichas fuentes renovables comprenden, entre otras, a las energías eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, biomasa y los biocombustibles. Actualmente, una de las fuentes renovables que mayor apoyo han recibido por parte de los gobiernos, es la energía eólica.

La planificación que algunos países han llevado a cabo sobre la promoción y uso de energía eólica, les han permitido ampliar el mix energético *-definido como la combinación de las diferentes fuentes de energía que cubren el suministro eléctrico de un país; puede expresarse en español como combinación energética, surtido energético o matriz energética, entre otras formas-*, de tal manera que su sector energético ya no depende al 100% del uso de combustibles fósiles. Los ejemplos más exitosos de dicha promoción a la tecnología eólica los tenemos en Alemania, China y Estados Unidos. De esta forma, la planificación eólica puede ser vista como un proceso metódico cuyo objetivo principal es promover, de la mejor forma posible, el uso de una tecnología limpia, renovable y respetuosa con el medio ambiente.



En el sentido estrictamente energético, la planificación es un factor clave pues la ausencia de la misma sobre un hecho puntual como lo es la inminente escasez de combustibles fósiles, provocará que, a mediano o corto plazo, el sector energético de un país tenga severos problemas para sustentar sus necesidades propias.

México es un país donde el 75% de la energía se obtiene a partir de combustibles fósiles (*principalmente petróleo*). Ésta dependencia energética a los hidrocarburos ha hecho que prácticamente todo el sector energético gire en torno al petróleo, de manera que no se ha fijado la mirada en otras fuentes energéticas como alternativas potenciales para generar energía.

En el mix energético mexicano existe al día de hoy una participación muy discreta de fuentes de energía renovables pero, a mediano y largo plazos, dicha participación será nada en comparación con las necesidades energéticas del país que día tras día crecen. La falta de un plan prospectivo de desarrollo de tecnologías renovables en México cuenta con dos caras para nada alentadoras: por un lado, derivará en una crisis energética ante la ya mencionada y segura escasez de fuentes fósiles a futuro. Por otro lado, la energía necesaria para cubrir la demanda nacional deberá ser comprada a otros países con el inminente costo que ello representa.

En la actualidad, no es posible asegurar qué tan grande o pequeña sea la participación de las tecnologías renovables en el mix energético mundial. Lo que sí es posible asegurar es que su participación es importante debido a que se reduce el uso de combustibles fósiles además de que, en forma gradual, se abre el abanico de posibilidades dentro del mix energético. Lo anterior aplica de la misma forma para México.

México deberá crear planes prospectivos de desarrollo de tecnologías renovables de inmediato. De lo contrario, el costo que representa el no implementar de forma gradual dichas tecnologías, se traduciría en muchos años de retraso en relación con otros países. La correcta planificación que se haga sobre nuevas formas de generar energía, permitirán seguir, relativamente hablando, muy cerca de la tendencia energética que hoy ya es una realidad.

Para el caso puntual de la energía eólica, el potencial que se tiene a lo largo y ancho del país mexicano hacen suponer que puede ser una fuente de energía que tenga una participación mucho muy importante dentro del mix energético. Lo que toca hacer es implementar planes prospectivos para empezar a caminar por el sendero que ya han trazado otros países y por el cual debemos ir para encaminarnos por la dirección energética correcta.

Hipótesis

Si somos conscientes de que contamos con los elementos principales para el análisis y toma de decisión en la incorporación de tecnología, entonces es posible proponer un plan prospectivo para la incorporación de tecnología eólica a fin de abrir el camino de la investigación que garantice que la energía en México estará a la mano para cualquier necesidad presente y futura tomando en



cuenta que los combustibles fósiles son limitados y que siempre va a haber un incremento de demanda de energía.

Límites y alcances de la investigación

Uno de los ejes centrales de las políticas de México es el desarrollo sustentable. Para ello, se propone impulsar el uso eficiente de la energía, así como la utilización de tecnologías que permitan disminuir el impacto ambiental generado por los combustibles fósiles tradicionales.

Aunque todas las tecnologías verdes son importantes, la presente investigación se enfocará únicamente en las tecnologías de generación eólica por las siguientes razones: en primer lugar porque la generación de energía a partir del viento es la tecnología más difundida en México, sólo detrás de los generadores hidroeléctricos. En segundo lugar, porque la tecnología eólica es la que mayor grado de desarrollo tiene a nivel mundial.

En la presente investigación se toman en cuenta de manera primordial las variables de índole técnica y tecnológica que influyen en el desarrollo de este tipo de generadores de energía. Además de lo anterior, se considerará de manera especial la compatibilidad con el medio ambiente y se analizarán los puntos más importantes del desarrollo tecnológico en otros países que hoy por hoy son líderes en la producción de energía a partir del viento.

Objetivo general

Por lo anteriormente descrito, el objetivo de este trabajo es elaborar una propuesta preliminar de un plan integral de implementación de tecnología eólica en tierra y mar para la generación de energía eléctrica en México. En la propuesta que se desarrolla se toman en cuenta de manera primordial las variables de índole técnica y tecnológica que influyen en el desarrollo de este tipo de proyectos. Se considerará de manera especial la compatibilidad con el medio ambiente.

Metodología

Para nadie es nuevo saber que los combustibles fósiles son limitados y que el mundo, conforme avanza el tiempo, requiere de mayores cantidades de energía. Voltar la mirada a energías alternativas como la eólica permitirá seguir en el camino de la investigación y el desarrollo de tecnologías que garanticen que la energía esté presente para cualquier necesidad actual o futura.

Por lo anterior, la metodología utilizada en la presente investigación tiene como principal objetivo el obtener toda la información necesaria que permita deducir conclusiones además de proporcionar recomendaciones coherentes y aceptables a fin de poder elaborar un plan prospectivo acorde a las necesidades detectadas sobre energía eólica en México



- Investigación de tipo analítica sobre: a) el desarrollo histórico en el uso de energía eólica a fin de conocer cómo ha ido evolucionando el uso de la energía eólica en la historia del hombre al pasar de simples molinos de grano en la antigüedad hasta lo que hoy tenemos como generadores eólicos; b) la situación mundial sobre el consumo energético y su tendencia a futuro; y c) la situación mundial sobre el uso y promoción de tecnología eólica.
- Investigación de tipo propositiva porque el estudio ha comprendido la elaboración de un plan prospectivo para promoción de tecnología eólica en México.
- Investigación bibliográfica realizada a través de la recopilación de información literaria relacionada con el tema: libros, folletos, entrevistas, revistas y publicaciones de prensa, así como documentos electrónicos que han proporcionado toda la información necesaria para la realización de la presente investigación.
- Investigación de campo realizada a través de visitas hechas a diferentes fabricantes de aerogeneradores así como al Instituto de Investigaciones Eléctricas (*IIE*). Las visitas realizadas tienen como objetivo principal, la obtención de información sobre la situación actual del uso y promoción de tecnología eólica en México además de conocer, de primera mano, la situación real sobre investigación, desarrollo e innovación tecnológicos en el país. La información se obtuvo mediante cuestionarios armados con preguntas abiertas y cerradas dirigidas al personal de los departamentos de ventas e ingeniería, para el caso de los fabricantes, y al personal de la Gerencia de energías no convencionales en el caso del Instituto de Investigaciones Eléctricas.



CAPÍTULO I

Panorama histórico de la utilización de energía eólica

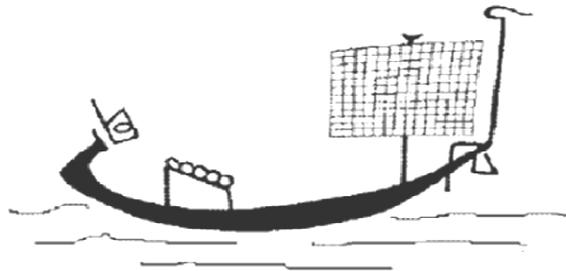
En el presente capítulo haremos un recorrido histórico del uso y aprovechamiento de la energía eólica para apreciar cómo el ingenio humano fue capaz de crear muchas formas de aprovechamiento eólico para distintas actividades. La historia de la energía eólica no sólo hace alusión a invenciones para aprovechar un recurso natural renovable, sino también involucra en gran medida el desarrollo y evolución de la vida humana; ambas con una marcada y muy importante presencia en la historia del hombre.

A lo largo de la historia se llevaron a cabo una serie de lentas transformaciones que tuvieron como principal objetivo sustituir la energía humana y los sistemas de tracción animal por alguna de las energías que están presentes en la naturaleza. Como ha mostrado el devenir de la historia, estas energías naturales resultarán ser, a la postre, más eficientes tanto en el sentido productivo como en el energético. La energía eólica no es la excepción tal y como lo veremos en el presente capítulo.

Utilización del viento desde la antigüedad hasta la crisis mundial del petróleo en 1973

Uso del viento en la antigüedad

Según González (2007), hasta la aparición de la máquina de vapor en el siglo XIX, la única energía de origen no animal para la realización de trabajo mecánico era la proveniente del agua o del viento. La primera y más inmediata forma de aprovechamiento de la energía eólica fue desde los tiempos más remotos aplicada a la navegación; las primeras referencias de la utilización del viento en embarcaciones a vela proceden de Egipto y datan del IV o V milenio A.C. (figura 01).



**Figura 01: Grabado de una embarcación egipcia impulsada a vela perteneciente a la época del Alto Imperio, 4.500 años A.C.
ENDESA, 2007**

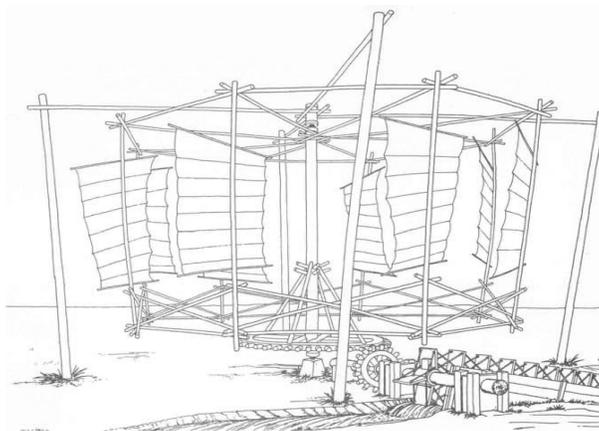


También hay referencias que evidencian que los molinos de viento existían ya en la más remota antigüedad. Persia, Irak, Egipto y China disponían de máquinas eólicas muchos siglos antes de J.C.; Hammurabi I. rey de Babilonia, 17 siglos antes de J.C. utilizó molinos accionados por el viento para regar las llanuras de Mesopotamia y para la molienda del grano. De acuerdo a Fernández (2007), se trataba de primitivas máquinas eólicas de rotor vertical con varias palas de madera o caña, cuyo movimiento de rotación era comunicado directamente por el eje a las muelas del molino.

En China hay referencias de la existencia de molinos de rotor vertical y palas a base de telas colocadas sobre un armazón de madera, que eran utilizados para el bombeo de agua. Estas máquinas son conocidas como panémonas (*figura 02*) y parece que son precursoras de los molinos persas (*figura 03*). El egipcio Herón de Alejandría representa en un estudio un molino de eje vertical de cuatro palas, entre otros (*figura 04*). Estos datos nos permiten apreciar los primeros pasos de la investigación más a fondo que se hacía sobre los efectos del viento y su uso para fines diferentes a la navegación (*Shepherd, 1990*).

Edad media

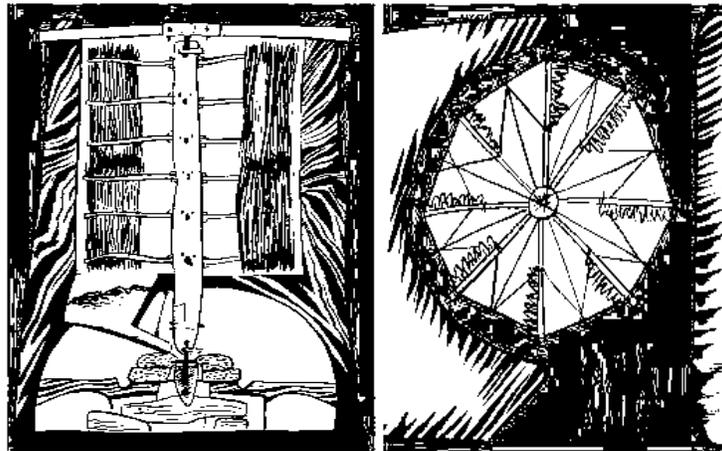
Los molinos de viento fueron utilizados en Europa en la Edad Media, comenzando a extenderse por Grecia, Italia y Francia. Si el origen de las máquinas eólicas presenta notables incertidumbres, no menos lo hace su expansión por el Mediterráneo y por toda Europa. De acuerdo a Fernández (2007), se debe a los cruzados la introducción de la tecnología eólica en Occidente, si bien otros autores opinan que Europa desarrolla su propia tecnología, claramente distinta de la oriental, ya que en Europa se imponen fundamentalmente los molinos de eje horizontal, mientras que los molinos orientales eran de eje vertical.



**Figura 02: Ilustración de una antigua panémona china; circa Siglo V a.d.C.
Fernández, 2007**



Sea cual fuese la forma de aparición de estas máquinas en diversos países europeos, lo cierto es que se encuentran abundantes ejemplos de la importancia que los molinos de viento llegaron a tener en diversas aplicaciones; citemos como ejemplo relevante los literarios molinos castellanos utilizados para la molienda y los no menos conocidos molinos holandeses usados desde 1430 para la desecación de los polders, todos ellos de eje horizontal (*figura 05*). En el siglo XVI Holanda perfecciona el diseño de los molinos y los utiliza para el drenaje; entre los años 1609 y 1612, Beemster Polder fue drenado con la ayuda de estas máquinas; sin embargo, no sólo utilizaron los molinos para drenar el agua, sino también para extraer aceites de semillas, moler grano, etc. Precisamente el nombre de "molinos" proviene de este tipo de aplicaciones (*Fernández, 2007*).



**Figura 03: Ilustración de un antiguo molino persa; circa Siglo V a.d.C.
ENDESA, 2007**

Una idea de la importancia que en el pasado adquirió la energía eólica nos la da el hecho de que en el siglo XVIII, los holandeses tenían instalados y en funcionamiento 20,000 molinos, que les proporcionaban una media de 20 kW cada uno, energía nada despreciable para las necesidades de aquella época. En el Siglo XVII, las dimensiones de las palas, la forma, los sistemas de orientación y los sistemas de regulación así como los detalles constructivos eran los problemas técnicos que preocupaban. En 1724, Leopold Jacob proyecta un molino de ocho palas -*cuyo objetivo era obtener una mayor velocidad del molino gracias a ese número de palas*- que mueve una bomba de pistón (*Shepherd, 1990*).

En 1883 aparece el pequeño multipala americano diseñado por Steward Perry. Ese molino era mucho más ligero que sus antecesores, lo que representó una ventaja tecnológica muy importante con respecto a otros fabricantes (*Wind Mill Literature, 2012*); tenía un rotor de 3 metros de diámetro, un número de palas que oscilaba entre 18 y 24 e iba montado sobre un eje horizontal en la parte superior de una torre metálica. Este molino ha sido el más vendido de la historia, llegándose a fabricar más de seis millones de unidades, de las que existen varios miles en funcionamiento (*figura 06*). De acuerdo a la Danish Wind Industry Association (*2012*), como precursor de los actuales aerogeneradores es necesario citar a la aeroturbina danesa de Lacourt (*1892*), máquina



capaz de desarrollar entre 5 y 25 kW (figura 07). Los trabajos realizados por Lacourt constituyeron los primeros pasos firmes en el campo de los aerogeneradores modernos.

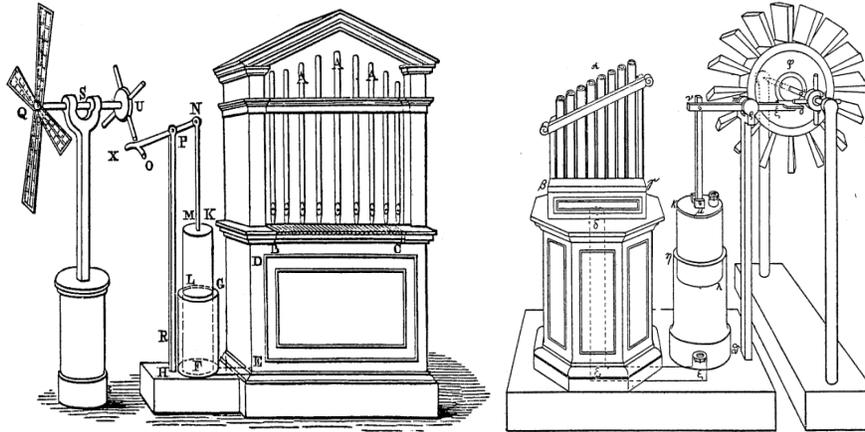


Figura 04: Conceptos sobre los molinos de viento descritos por Herón de Alejandría.
Shepherd, 1990



Figura 05: Antigua red de molinos de Kinderdijk-Elshout, Holanda; denominados por la Unesco como monumento internacional y patrimonio de la Humanidad.
UNESCO, 1997

Generadores eólicos en el siglo XX

La teoría de la aerodinámica se desarrolla durante las primeras décadas del siglo XX, permitiendo comprender la naturaleza y el comportamiento de las fuerzas que actúan alrededor de las palas de las turbinas. Los mismos científicos que la desarrollaron para usos aeronáuticos (como Joukowski, Drzewiechy y Sabinin en Rusia; Prandtl y Betz en Alemania; Constantin y Enfield en Francia), establecen los criterios básicos que debían cumplir las nuevas generaciones de turbinas eólicas.



En el año 1910, Dinamarca tenía instalada una potencia eólica de 200 MW. Hasta ese momento, las velocidades típicas que se habían conseguido con los multipala eran de dos veces la del viento, en contraste con los molinos clásicos que habían funcionado con velocidades en el extremo de la pala del mismo orden de magnitud que la del viento.

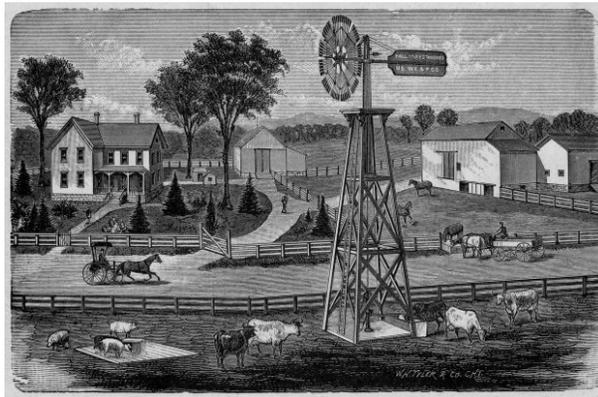


Figura 06: Molino multipala americano; circa 1879.
Wind Mill Literature, 2012

En los años 20 se empiezan a aplicar a los rotores eólicos los perfiles aerodinámicos que se habían diseñado para las alas y hélices de los aviones. En 1927, el holandés A.J. Dekker construye el primer rotor provisto de palas con sección aerodinámica, capaz de alcanzar velocidades en punta de pala, cuatro o cinco veces superiores a la del viento incidente. Betz demostró en su famoso artículo "Die Windmuhlen im lichte neverer Forschung", (*Berlín, 1927; citado en Fernández, 2007*), que el rendimiento de las turbinas aumentaba con la velocidad de rotación y que, en cualquier caso, ningún sistema eólico podía superar el 60% de la energía contenida en el viento. Por lo tanto, los nuevos rotores debían funcionar con elevadas velocidades de rotación para conseguir rendimientos más elevados. La teoría demostró también que cuanto mayor era la velocidad de rotación menor importancia tenía el número de palas, por lo que las turbinas modernas podían incluso construirse con una sola pala sin que disminuyera su rendimiento aerodinámico significativamente.

A pesar de los esfuerzos realizados y de la mayor eficacia de las nuevas turbinas, las dificultades de almacenamiento y las desventajas propias de la irregularidad de los vientos fueron la causa de que las aplicaciones basadas en el aprovechamiento del viento como recurso energético continuaran declinando hasta el final de la Primera Guerra Mundial.

Los combustibles fósiles, y en particular el petróleo, empezaban a imponerse como la principal e insustituible fuente de energía. Sin embargo, el petróleo presentaba un grave inconveniente al crear una dependencia entre los países consumidores y los productores, de forma que cuando el orden económico se veía alterado por alguna crisis y la dependencia energética se hacía patente, se adoptaban políticas de apoyo de los recursos autónomos, pero que se abandonaban una vez que se superaba la crisis.



La primera de estas etapas fue una consecuencia inmediata de la Primera Guerra Mundial. Con una fuerte expansión de la electricidad como sistema energético universal y escasez de recursos para importar petróleo, las turbinas eólicas continuaron desarrollándose por dos caminos diferentes: por un lado, la atención se dirigió hacia el diseño, construcción y comercialización de aerogeneradores de baja potencia, capaces de generar electricidad en áreas rurales más o menos aisladas y a las que todavía no habían llegado las redes de electrificación.



**Figura 07; Dos aerogeneradores de prueba de Paul Lacourt;
Instituto Askov Folk, Askov, Dinamarca, 1897.
Danish Wind Industry Association, 2012**

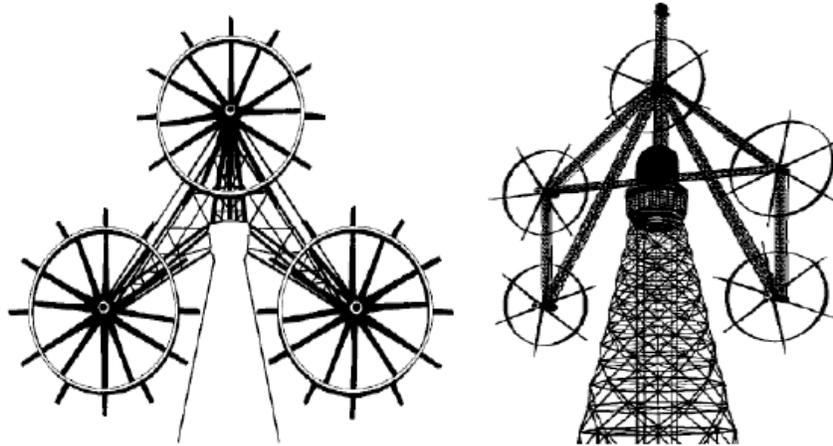
Por el otro lado, y a la sombra de una industria aeronáutica en pleno desarrollo, el esfuerzo se dirigió hacia el diseño y construcción de grandes plantas eólicas capaces de generar electricidad a gran escala. Este apoyo a los recursos energéticos autóctonos, que comenzó inmediatamente después de la guerra, se mantuvo durante la década siguiente, como consecuencia de la política proteccionista adoptada por los países occidentales tras la crisis de 1929.

Durante este período fueron innumerables los trabajos realizados sobre plantas eólicas de gran potencia en Europa y Estados Unidos. Esto motivó que los programas eólicos centraran su interés en otros aspectos relacionados con la energía eólica como fueron, por ejemplo, la evaluación de los recursos disponibles, la obtención y el tratamiento de datos meteorológicos, la elaboración de mapas eólicos y localización de emplazamientos y el cálculo, diseño y construcción de plantas de gran potencia. A su vez, se crearon incentivos que motivaron a la iniciativa privada a fabricar y comercializar pequeñas turbinas con funcionamiento autónomo, que permitiesen cubrir las necesidades de explotaciones agrícolas o industriales situadas en zonas apartadas.

La atracción que representa una energía como la del viento, inagotable, gratuita y no contaminante ha dado lugar a proyectos ambiciosos y de proporciones gigantescas que hoy nos parecen utópicos, pero que quizá podrán realizarse en el futuro.



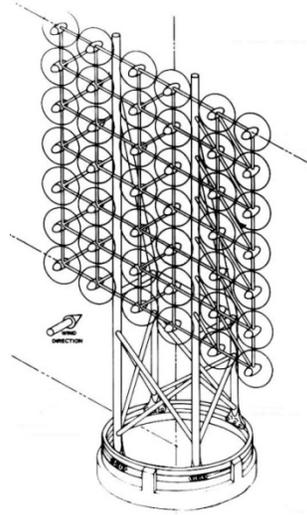
Dentro de éstos grandes proyectos, el Honnef alemán, por ejemplo, consistió en instalar torres de 300 metros de altura, con 3 o 5 rotores de 150 metros de diámetro, capaces de generar de 75 MW hasta 120 MW; aunque se realizaron estudios a pequeña escala, no se pudieron sacar conclusiones valiosas debido a que el prototipo de esta central fue destruido en una incursión aérea (*figura 08*).



**Figura 08: Turbinas eólicas Honnef de 75 MW y 120 MW; década de los 30
Fernández, 2007**

Aunque con el paso de los años el ingeniero alemán había ganado una vasta experiencia, el parque eólico de sus sueños jamás pudo ver la luz debido a que, por un lado, llevarlo a cabo suponía una inversión de 8 millones de marcos de la época, una cantidad de la que no disponía y que era extremadamente difícil de conseguir. Por otro lado, pese a que Honnef intentó convencer al gobierno del Tercer Reich de las bondades de la energía eólica, todos los recursos estaban puestos en la guerra por lo que el gobierno nazi desestimó sus planes. Desafortunadamente los enormes molinos de Honnef nunca llegaron a salir del papel más que en forma de modelos a escala, pero sus principios sirvieron para inspirar a las venideras generaciones de aerogeneradores.

De acuerdo al Instituto de Diseño de Aviones de la Universidad de Stuttgart (2012), el anteproyecto Heronemus, de Estados Unidos, consistía en la construcción de estaciones eólicas compuestas por torres de entre 113 y 250 metros de altura con múltiples rotores de 73 metros de diámetro. Estas torres se distribuirían en las grandes llanuras que se extienden desde Texas al Canadá con una torre por milla cuadrada; ésta empresa representaría la construcción de una torre por cada 1000 ciudadanos americanos con un total de 600,000 generadores con sus correspondientes aparatos de almacenamiento de energía. Se pensaba que con 1400 estaciones de este tipo ubicadas en la costa, se podría generar el 8% de la demanda eléctrica de Estados Unidos (*figura 09*).



**Figura 09: Diagrama concebido a partir del proyecto Heronemus de una torre con una gran mesa giratoria en la parte inferior para el control de la dirección del viento
Instituto de Diseño de Aviones - Universidad de Stuttgart (imagen digitalizada), 2012**

Pese a que el proyecto Heronemus resultaba algo demasiado utópico para la década de 1970, logró sentar una visión anticipada de lo que serían los actuales aerogeneradores offshore debido a que por primera vez se introducía la idea de utilizar estructuras de soporte flotantes para los aerogeneradores situados en el mar. Dicha visión a gran escala de aerogeneradores offshore flotantes fue introducida en la Universidad de Massachusetts en 1972 pero no fue hasta mediados de 1990, después de que la industria eólica comercial estuvo bien establecida, que el tema fue retomado como una de las principales vías de investigación.

Una vez finalizada la Segunda Guerra Mundial, y como consecuencia del período de escasez que siguió, los países europeos elaboraron programas nacionales para elegir los emplazamientos más adecuados donde deberían instalarse las grandes plantas eólicas que se proyectaban.

Dentro del Siglo XX, el segundo periodo de desarrollo de la energía eólica comienza en los años cincuenta y se prolonga hasta mediados de los sesenta en que, una vez restablecida la economía internacional, acaba perdiendo interés al no resultar sus precios competitivos con los de los combustibles fósiles convencionales, por lo que el bajo precio del petróleo, hasta 1973, cerró el camino al desarrollo de la tecnología eólica; a esta etapa siguió otra de precios del petróleo altos que se prolongó hasta 1986 y que favoreció el desarrollo de los aerogeneradores eólicos como fuente de energía alternativa, renovable y no contaminante, capaz de producir electricidad a precios competitivos (*Sussex Mills Group, 2012*).



Crisis del petróleo de 1973

A pesar de los cambios realizados en la forma de indexar los precios del petróleo a la inflación, los países de la OPEP continuaron cuestionando las pérdidas que los crecientes índices inflacionarios les ocasionaba en los precios del petróleo, fijados en dólares. Es así, que en julio de 1973, Argelia decide por primera vez y de forma unilateral incrementar el precio de referencia del barril del petróleo en cerca de un 30%. Esta medida fue seguida por Libia al poco tiempo, mientras que acciones similares fueron adoptadas por los otros países miembros sin que mediara una coordinación entre ellos.

En octubre de 1973, luego de prolongadas e infructuosas negociaciones con las compañías petroleras que terminaron con la suspensión de las conversaciones entre ambas partes, el Comité Ministerial de la OPEP anunció un incremento del precio de referencia a 5.12 dólares por barril, constituyendo ésta la primera acción conjunta de los países de la OPEP en el ejercicio del derecho de su soberanía para determinar los precios del petróleo. En adelante, los países de la OPEP serían los únicos que determinarían los precios del petróleo unilateralmente. En el mismo mes, en circunstancias en que se presentaba la mencionada tendencia alcista en los precios del petróleo estalló la corta guerra (*Yom Kippur*) árabe israelí, desencadenada por el reclamo de Siria y Egipto sobre territorios ocupados por Israel (*Martínez, 2002*).

En represalia al apoyo a Israel, las naciones árabes iniciaron un embargo sobre las entregas de petróleo a los Estados Unidos y los Países Bajos. En ese momento los precios en el mercado libre o "spot", llegaron a oscilar alrededor de los 20 dólares por barril. De esta forma, el embargo aceleró el proceso alcista en el precio del petróleo que ya estaba en marcha.

Según Ruiz (*2001*), en diciembre de 1973, en la conferencia que tuvo lugar en Teherán, los países de la OPEP, en su afán de aproximar los precios de referencia a los que se estaban pagando en el mercado, incrementaron conjuntamente el precio de base de referencia del "Arabian Light", a 11.65 dólares por barril. Decidieron que este precio regiría a partir del 1 de enero de 1974, y al mismo tiempo establecieron que los precios fueran ajustados cada trimestre a fin de tener en cuenta la tasa de inflación en los Estados Unidos. Con esta medida, en menos de un año el precio de referencia del petróleo registró un incremento de más del 400%.

En esa misma década, y antes del incremento en el precio del petróleo, la participación de los países consumidores en el mercado petrolero se hizo mayor pero sólo debido a que pagaban más regalías a favor de los países productores. Esto tuvo como consecuencia que en gran parte de la década de los setenta el control en la producción y comercialización de petróleo recayó en las compañías nacionales además de que se aseguró una buena provisión de crudo en los países productores (*figuras 10 y 11*).

Al respecto, cabe señalar que, al iniciar la década de los setenta, las compañías trasnacionales eran propietarias del 80% del crudo mientras que en 1979 sólo eran dueños del 20%.



Estos hechos dieron lugar a una revolución energética que se caracterizó por la conservación de la energía, la sustitución del petróleo y la exploración y desarrollo de nuevos recursos petroleros menos rentables. Los años posteriores a esta alza se caracterizaron por una drástica reducción del consumo del petróleo en el mundo, especialmente en los países industrializados (*Kleemann, 2008*).

En el mismo periodo, las redes de electrificación empezaban a ser lo suficientemente extensas como para cubrir la mayor parte de las zonas rurales, por lo que también disminuyeron las ventajas de los aerogeneradores de baja potencia utilizados en zonas aisladas. De esta forma, se inicia la planeación, experimentación e implementación de parques eólicos a gran escala, con el objetivo de cubrir zonas mucho más extensas y de mayor demanda de energía eléctrica.



**Figura 10: Fila de personas en una gasolinera de Los Ángeles a la espera de racionamiento de combustible; Mayo de 1979.
Mirko Zardini, 2008**



**Figura 11: Escena típica a las afueras de una estación de servicio de gasolina en Estados Unidos; Mayo de 1979.
Mirko Zardini, 2008**



Utilización de la energía eólica después de la crisis energética (1979)

El período de la crisis energética debida al petróleo terminó con un gran número de instalaciones eólicas experimentales construidas de una forma dispersa en países diferentes y sin demasiada conexión entre sí. Solamente en Francia, Dinamarca e Inglaterra se llevaron a cabo programas de cierta importancia. El número de aerogeneradores instalados a finales de 1991 era superior a los 21,000, según datos de la Agencia Internacional de la Energía (*IEA*), con un total de potencia de 2,200 MW, equivalente a dos centrales nucleares de gran potencia, de los cuales la mitad estaban instalados en los parques eólicos de California.

A finales de 1991 la potencia de origen eólico instalada en la red eléctrica danesa ascendía a 410 MW con una producción de energía equivalente al 2.3% del consumo del país. En Alemania la potencia instalada era de 100 MW y estaba previsto alcanzar los 250 MW en breve plazo. Holanda contaba con 80 MW de potencia instalada y 100 MW más en construcción. El programa eólico holandés tenía previsto alcanzar los 1,000 MW hacia el año 2000 y los 2,000 MW en el 2010 (*Fernández, 2007*). España tenía en fase de realización varios proyectos que completarían los 50 MW hacia finales de 1992. El Plan de Energías Renovables, dentro del Plan Energético Nacional 1992-2000 alcanzó los 100 MW a finales de 1995, aunque las previsiones actuales sobrepasan ampliamente estas cifras. En cuanto al tipo de máquinas de mayor interés, los resultados obtenidos de las numerosas experiencias realizadas permitieron concretar el campo de trabajo en dos modelos: las turbinas de eje horizontal de dos o tres palas (*figura 12*) y, en menor medida, las turbinas Darrieux de eje vertical (*figura 13*).



Figura 12: aerogeneradores típicos de 3 palas en el parque eólico Sierra de Oliva, España.
The Wind Power, 2012

El tamaño medio de las máquinas instaladas hasta 1990 estuvo en el rango de los 100 kW, aunque se observaba una clara tendencia ascendente. En los últimos 10 años los pequeños aerogeneradores aumentaron poco a poco sus potencias, a la vez que mejoraban su fiabilidad y reducían sus costes; las potencias medias de los aerogeneradores instalados entre 1990 y 1991



era de 225 kW; en los últimos años se han podido construir aerogeneradores con potencias mayores, desarrollados por las grandes compañías de la industria aeronáutica, que aumentan la fiabilidad de las máquinas y reducen sus costes, convergiendo hacia una nueva generación de aeroturbinas de 500 kW a 1.2 MW, lo que demuestra el alto grado de madurez alcanzado por esta tecnología.



**Figura 13: Aerogenerador tipo Darrieux (Darrieus) en Heroldstatt, Alemania
W. Wacker, 2005**

La fabricación de pequeñas máquinas ha ido perdiendo interés en países con redes de distribución de electricidad muy extendidas, ya que los costes superiores de la energía en instalaciones pequeñas e individuales los hacen poco rentables. El precio del kW/h eólico puede ser, en aerogeneradores de potencia media, la mitad que en los aerogeneradores de potencia baja. La rentabilidad de las aeroturbinas eólicas implica el intentar disminuir costos, tanto en su instalación inicial, como en los gastos de mantenimiento, procurando que el tiempo de vida de la instalación sea superior al del período de amortización.

Energía eólica en México

De acuerdo a la Comisión Federal de Electricidad (2012), el uso de generadores eólicos en México inicia en 1994, gracias a un proyecto desarrollado por la CFE para generar 1.5 GW de energía eléctrica. El lugar donde se instalaron los aerogeneradores de dicho proyecto es una región donde la velocidad del viento es capaz de derribar cajas vacías de tráileres: La Ventosa en el Estado de Oaxaca.

12 años después (2006), CFE incrementa considerablemente la capacidad instalada en el segundo desarrollo eólico en México: La Venta II, ubicado en el mismo estado de la República Mexicana, con mayor capacidad de generación de energía (85 MW).



A partir de entonces se adecuaron algunos instrumentos regulatorios que permitieron dar viabilidad a los proyectos eólicos de Oaxaca: el Contrato de Interconexión para Fuentes de Energía Renovable también conocido como “CIFER”. Se concretó uno de los proyectos de infraestructura eléctrica más grande del mundo para transportar energía eólica desde un sólo nodo, proyecto que se conoce como “Temporada Abierta” (TA).

Al día de hoy, y considerando parques eólicos en operación, con los desarrollos de La Ventosa y La Venta II, termina la participación de Obras Públicas Financiadas OPF (*Licitaciones de CFE*). Los desarrollos eólicos restantes, que en conjunto con las obras OPF tienen una capacidad instalada total de 1,469 MW al cierre de 2012 (*The Wind Power Database, 2013*), son, por una parte, de empresas privadas que generan energía eléctrica a partir de aerogeneradores para su autoconsumo (*autoabastecimiento*). La otra parte corresponde a productores independientes de energía (*PIE*), las cuales venden energía eléctrica a CFE.

Necesidad de energía eléctrica a futuro

El principal recurso eólico en México se localiza en el Istmo de Tehuantepec, en Oaxaca. En las áreas más ventosas (*La Venta*), el promedio anual de la velocidad del viento a 50 m de altura excede los 10 m/s (*Instituto de Investigaciones Eléctricas, 2012*). Por supuesto, en esa planicie costera también existen áreas con vientos altos, moderados y bajos, que en conjunto dan lugar a la instalación de aerogeneradores clasificados como I, II y III, o clase especial. Dadas las excelentes características topográficas de la región, se ha estimado que ahí se podrían instalar más de 3 mil MW eolo eléctricos.

En México existen otras regiones con vientos técnicamente aprovechables para la generación de electricidad (*se pueden encontrar áreas donde el promedio anual de la velocidad del viento es mayor que 6.0 m/s a una altura determinada*); por ejemplo, algunas partes de los estados de Baja California, Baja California Sur, Tamaulipas, Veracruz, Zacatecas, Hidalgo, Yucatán, Chiapas y Quintana Roo, entre otros.

Desde el punto de vista técnico, la capacidad eolo eléctrica (*MW*) que se podría instalar en México supera a la que ya se ha instalado en algunos países industrializados después de más de 15 años de esfuerzo (*por ejemplo, Alemania con más de 25,000 MW, o España con más de 15,000 MW*). No obstante, existen factores que se tendrán que ir superando para que en México sea posible alcanzar cifras de esa magnitud.

De acuerdo a la Asociación Latinoamericana de Energía Eólica (2010), entre estos factores se encuentra la construcción de infraestructura eléctrica para interconexión de centrales eolo eléctricas y, por supuesto, ir logrando que los proyectos sigan siendo financiables además de ser económica y tecnológicamente rentables a medida que éstos se diseminan hacia regiones con menor recurso eólico o hacia regiones más complejas donde el costo de inversión es mayor. Al igual que en cualquier otra parte del mundo, en México no hay zonas ideales para construir proyectos eolo eléctricos, es decir, cada región presenta ventajas y desventajas. Lo importante es



hacer una proyección adecuada para determinar de qué forma puede impactar el uso de la energía eólica en México de manera favorable y siempre encaminada hacia el progreso.

Como conclusión al capítulo, resaltamos que resulta interesante apreciar cómo ha ido cambiando y evolucionando el uso de una misma fuente de energía pues ha pasado de ser el motor de tareas elementales *-la impulsión de navíos, la molienda de granos y el bombeo de agua-*, hasta convertirse en una fuente importante para la generación de energía eléctrica y que crece exponencialmente día con día. El mundo actualmente ve el potencial de éste tipo de fuente de energía y, si bien es cierto que hace falta redoblar esfuerzos para que sea un referente importante dentro del campo de la energía, ha demostrado su viabilidad al posicionarse muy por encima de otras fuentes en aspectos tan importantes como es el abandono de combustibles fósiles y el respeto al medio ambiente.

Dentro del campo de la energía eólica, todos los proyectos, ejercicios, experimentos, análisis, etc. que se han hecho a lo largo de la historia, han dejado lecciones valiosas y un aporte importante para cada uso que se tenía con base en la necesidad de la época o del momento. Ahora estamos frente a nuevas exigencias y necesidades, por lo cual la tarea que se tiene para seguir investigando, inventando e innovando es grande, pues sólo de esta forma podremos garantizar que la energía eólica pueda ser usada de la mejor forma a lo largo de la historia que día con día se sigue escribiendo.



CAPÍTULO II Un acercamiento a la energía eólica; conceptos básicos

El viento es un recurso permanente y renovable debido a que siempre se establecerán corrientes de aire por el planeta. A pesar de las aparentes limitantes de que sólo una pequeña parte la energía solar se convierte en viento, y que los aerogeneradores sólo lo aprovechan cuando tiene una velocidad determinada, las posibilidades de aprovechamiento de esta energía son enormes.

En el capítulo anterior, hemos hablado bastante de la energía eólica desde el punto de vista histórico; ahora es claro que se aprovechó para el riego, para molienda de granos con molinos de viento y que fue la energía que movía el transporte marítimo a vela. Sabemos también que en la actualidad la energía eólica es utilizada para la producción de energía eléctrica.

¿Cómo se transforma el viento en energía eléctrica?

Esto es posible gracias a los aerogeneradores pero, para contestar a esta pregunta de manera detallada, tenemos que contestar otra:

¿Cuáles son los componentes básicos de un aerogenerador moderno?

Eso es lo que trataremos en el presente capítulo.

Después del repaso histórico del aprovechamiento de la energía eólica, es importante exponer algunos conceptos básicos que se relacionan directamente con el uso actual de la energía eólica y su aprovechamiento en generadores eólicos. Además de los conceptos es importante exponer de manera general las ventajas y desventajas del uso de la energía eólica como una fuente alternativa en la generación de energía eléctrica. Lo anterior va a permitir acotar en su justa medida todo lo que implica el uso de este tipo de tecnologías.

Energía eólica: La energía eólica se considera una forma indirecta de energía solar. Entre el 1 y 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento debido al movimiento del aire ocasionado por el desigual calentamiento de la superficie terrestre (*Jaramillo, 2008*). La energía cinética del viento puede transformarse en energía útil, tanto mecánica como eléctrica, por ello podemos definir a la energía eólica como aquella energía contenida en el viento.

El término eólico viene del latín *Aeolicus*, que quiere decir perteneciente o relativo a Eolo (*en griego Αἰολος*), dios de los vientos en la mitología griega (*figura 01*). Cuenta la leyenda que el Dios Eolo mantenía cautivos y encerrados a los vientos en una isla y los dejaba salir a voluntad. Otro relato indica que Eolo tenía su lugar de descanso en las Sisargas; su despertar era la causa del clima característico de la Costa de la Muerte dentro de la región costera de Galicia, España (*Herrero, 2006*).



**Figura 01: Eolo, Dios guardián de los vientos
(Retoque digital de una antigua representación en mármol)
Ed Stevnhagen, 2005**

Generador eólico (aerogenerador): Tomando la definición proporcionada por el Instituto Tecnológico de Canarias (2012), tenemos que un aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento (*turbina eólica*). Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina.

Actualmente la energía eólica puede proporcionar energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica. Existen diferentes clases de aerogeneradores, dependiendo de su potencia, la disposición de su eje de rotación, el tipo de generador, etc.

Los aerogeneradores pueden trabajar de manera aislada o agrupados en parques eólicos o plantas de generación eólica, distanciados unos de otros, en función del impacto ambiental y de las turbulencias generadas por el movimiento de las palas.

Partes básicas de un aerogenerador

De acuerdo a la información disponible en ABB (2012) y en Gamesa (2012), las partes básicas de un aerogenerador (*figura 02*) son:

1. **Góndola;** carcasa que protege las partes fundamentales del aerogenerador. Contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. Cuando es necesario realizar algún servicio de mantenimiento, el personal técnico puede entrar en la góndola desde la torre de la turbina.



2. **Palas del rotor;** en un aerogenerador moderno de 1,500 kW cada pala mide alrededor de 40 metros de longitud y su diseño es muy parecido al del ala de un avión. La función de las palas es la de capturar y transmitir la potencia del viento hacia el buje.
3. **Buje;** es la parte que acopla y une el eje de baja velocidad del aerogenerador con las palas del rotor.
4. **Eje de baja velocidad;** conecta el buje del rotor al multiplicador. Su velocidad de giro es muy lenta. En un aerogenerador moderno de 1,500 kW el rotor gira a unas 20 a 35 revoluciones por minuto (*r.p.m.*) El eje contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de los frenos aerodinámicos.
5. **Multiplicador;** permite que el eje de alta velocidad que está a su derecha gire 50 veces más rápido que el eje de baja velocidad, que se encuentra a su izquierda. El eje de alta velocidad gira aproximadamente a 1,500 r.p.m. lo que posibilita el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.
6. **Eje de alta velocidad;** gira a gran velocidad y permite el funcionamiento del generador eléctrico.
7. **Generador eléctrico;** es una de las partes más importantes de un aerogenerador. Transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Suele ser un generador asíncrono o de inducción. En los aerogeneradores modernos la potencia máxima suele estar entre 500 y 5,000 kW.
8. **Controlador electrónico;** es un ordenador que monitoriza las condiciones del viento y controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción, el controlador electrónico automáticamente para el aerogenerador y llama al ordenador del operario encargado de la turbina a través de un enlace telefónico mediante un módem.
9. **Anemómetro;** el anemómetro es un aparato meteorológico que se usa para medir la velocidad del viento. Las señales electrónicas del anemómetro son utilizadas por el controlador electrónico del aerogenerador para conectarlo cuando el viento alcanza una velocidad aproximada de 5 m/s.
10. **Veleta;** es un dispositivo giratorio que indica la dirección del viento y una cruz horizontal que indica los puntos cardinales.
11. **Unidad de refrigeración;** contiene un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además contiene una unidad refrigerante por aceite empleada para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores refrigerados por agua.
12. **Torre;** es la parte del aerogenerador que soporta la góndola y el rotor. Generalmente es una ventaja disponer de una torre alta, dado que la velocidad del viento aumenta conforme



nos alejamos del nivel del suelo. Una turbina moderna de 1,500 kW tendrá una torre de unos 60 metros. Las torres pueden ser bien torres tubulares o torres de celosía. Las torres tubulares son más seguras para el personal de mantenimiento de las turbinas ya que pueden usar una escalera interior para acceder a la parte superior de la turbina. La principal ventaja de las torres de celosía es que son más baratas.

13. **Mecanismo de orientación;** está activado por el controlador electrónico. La orientación del aerogenerador cambia según las condiciones del viento.

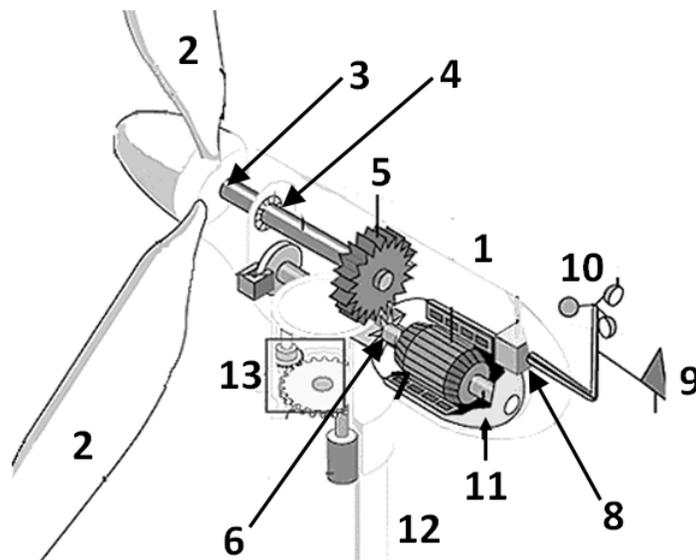


Figura 02: Detalle de componentes principales de un aerogenerador
Gamesa, 2012

Resulta importante aclarar que el detalle y la descripción de las partes del aerogenerador que se han realizado son los más básicos y, evidentemente, existirán diferencias en relación a diversos factores como son: fabricante, tipo de aerogenerador (*en tierra o en mar*), capacidad de generación, etc.

Una vez que tenemos la idea de cómo opera un aerogenerador elemental, vamos a definir sus diferentes modalidades de operación en función de su ubicación. De acuerdo a los conceptos de Wind Sector (2012); tenemos las siguientes definiciones:

- **Generadores eólicos onshore:** Son generadores eólicos, ya sea individuales o en grupo, instalados en tierra firme.
- **Generadores eólicos offshore:** Son generadores eólicos, ya sea individuales o en grupo, instalados en el mar. Generalmente son instalados en sitios de media o alta profundidad.



- **Generadores eólicos nearshore:** Las instalaciones de aerogeneradores nearshore están en tierra dentro de los tres kilómetros cercanos a una costa o en el agua dentro de diez kilómetros de la tierra.

La clasificación de los diferentes tipos de generadores de acuerdo a su ubicación puede apreciarse en la figura 03.



Figura 03: Explicación gráfica de las diferencias entre un generador eólico onshore, offshore y nearshore en función de la posición que guarden ya sea en tierra firme y/o en el mar.
Wind Sector, 2012

Ventajas y desventajas en el uso de energía eólica

Los partidarios de las energías renovables aseguran que una de características fundamentales de estos tipos de energía renovable es que no producen efectos negativos ni en el medio ambiente ni en el clima. Esta posición es un poco optimista ya que a menudo la implementación de instalaciones de energía renovable impacta de manera directa sobre el medio ambiente y en el paisaje. Especialmente en este último punto, los parques eólicos son uno de los ejemplos más claros debido a su gran impacto en el paisaje ya sea en tierra o en mar. Este es sólo un punto de controversia incluso entre los mismos grupos defensores del medio ambiente.

Pese a toda la controversia generada y en términos generales, todos tienden a favorecer la explotación de las energías renovables a expensas de las tradicionales debido al gran potencial que representan.

Ventajas

Entre las ventajas del uso de energía eólica, destacan las siguientes:

- proviene indirectamente del sol; esto hace que sea una fuente inagotable de energía



- la producción de energía eléctrica a través de un generador eólico no introduce ningún proceso de combustión o etapa de transformación térmica. Esto supone, desde el punto de vista medioambiental, un proceso limpio y exento de problemas de contaminación atmosférica, del suelo, del agua, etc.
- se suprime cualquier impacto originado por la extracción, transformación, transporte y uso de combustibles (*un combustible es cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimiento de calor*)
- al contrario de lo que puede ocurrir con las energías convencionales, la energía eólica no produce ningún tipo de alteración sobre mantos acuíferos, ríos o depósitos naturales de agua porque no existe contaminación por residuos o vertidos. La generación de electricidad a partir del viento no produce gases tóxicos, ni contribuye al efecto invernadero, ni destruye la capa de ozono, tampoco crea lluvia ácida. No origina productos secundarios peligrosos ni residuos contaminantes
- un generador eólico, al no usar combustibles ni otro tipo de sustancias para su funcionamiento, suprime los riesgos de accidentes durante su uso y manipulación. No hace necesaria la instalación de líneas de abastecimiento ni de canalizaciones para transporte y uso de combustibles o sustancias
- la utilización de la energía eólica para la generación de electricidad presenta incidencia cero sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosionabilidad, ya que no se produce ningún contaminante que incida sobre este medio, ni tampoco vertidos o grandes movimientos de tierras
- es una de las fuentes más baratas debido a que puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de carbón (considerado tradicionalmente como el combustible más barato), las centrales de combustible e incluso con la energía nuclear si se consideran los costos de reparar los daños medioambientales
- la energía eólica es independiente de cualquier política o relación comercial. se obtiene en forma mecánica y por tanto es directamente utilizable
- al finalizar la vida útil de la instalación, el desmantelamiento no deja huellas
- se puede generar una buena cantidad de empleos en los lugares donde se instalen aerogeneradores. esto provoca invariablemente un ingreso a la economía local
- el uso de aerogeneradores ayuda a eliminar la quema de combustibles fósiles y su obvia emisión de contaminantes a la atmosfera



Desventajas

Entre las desventajas del uso de energía eólica, destacan las siguientes:

- el aire al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y en consecuencia caras. Su altura puede igualar a la de un edificio de diez o más plantas, en tanto que la envergadura total de sus aspas alcanza la veintena de metros, lo cual encarece su producción
- al depender del régimen de viento, la producción de energía es muy variable. Este punto es crucial pues obliga a considerar a la energía eólica, por el momento, como un complemento y no como la base energética de un país
- desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que por sus características precisa unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas, litoral). En este sentido, la implantación de la energía eólica a gran escala, puede producir una alteración clara sobre el paisaje, que deberá ser evaluada en función de la situación previa existente en cada localización.
- un impacto negativo es el ruido producido por el giro del rotor aunque cabe decir que su efecto no es más acusado que el generado por una instalación de tipo industrial de similares características. El ruido de un molino de viento será más molesto mientras más cerca estemos.
- ha de tenerse especial cuidado a la hora de seleccionar un parque si en las inmediaciones habitan aves, por el riesgo de mortandad al impactar con las palas. Sin embargo, existen soluciones al respecto como pintar en colores llamativos las palas, situar los molinos adecuadamente dejando "pasillos" a las aves, e, incluso en casos extremos hacer un seguimiento de las aves por radar llegando a parar las turbinas para evitar las colisiones.

La controversia no acaba por el hecho de enlistar ventajas y desventajas. Evidentemente la energía eólica, así como cualquier otro tipo de energía considerada como renovable, representa una valiosa oportunidad para analizar, estudiar y encontrar soluciones a fin de que este tipo de tecnologías de generación o conversión de energía sean para el progreso y bienestar implicando el mínimo impacto al medio ambiente en todo sentido.

Evolución de los aerogeneradores

El tamaño de los aerogeneradores sigue aumentando aunque muy probablemente no vaya mucho más allá de los diseños que se desarrollan actualmente y que están comprendidos entre 4 y 7 MW por cada aerogenerador. Los requisitos de accesibilidad y de logística en esos tamaños son al día



de hoy limitantes a considerar puesto que estamos hablando de piezas de más de 40 m de largo y de más de 60 T de peso que se deben izar a más de 100 m de altura. Tabla 04 y figura 05.

De acuerdo a la tabla 04 y a la figura 05, en la actualidad tenemos aerogeneradores de tamaño considerable. El aumento de la potencia promedio es un fenómeno generalizado ligado a la evolución de la tecnología y del mercado. La mayor parte de las instalaciones actuales se componen de aerogeneradores de tamaño unitario superior a 2,000 kW ya que el aumento del diámetro de rotor del aerogenerador va ligado al crecimiento de la potencia.

Concepto /años	1985	1995	2005
Diámetro del rotor (m)	15	52	80
Altura de la torre (m)	20	45	60/67/78/100
Potencia nominal (kW)	55	500	2000
Producción anual típica (kWh)	48.000	190.000	1.050.000
Peso total (ton)	12	50	231,5/259,5/315,5/397,5
Producción área /barrida (kWh/m ²)	621	1.155	5.027

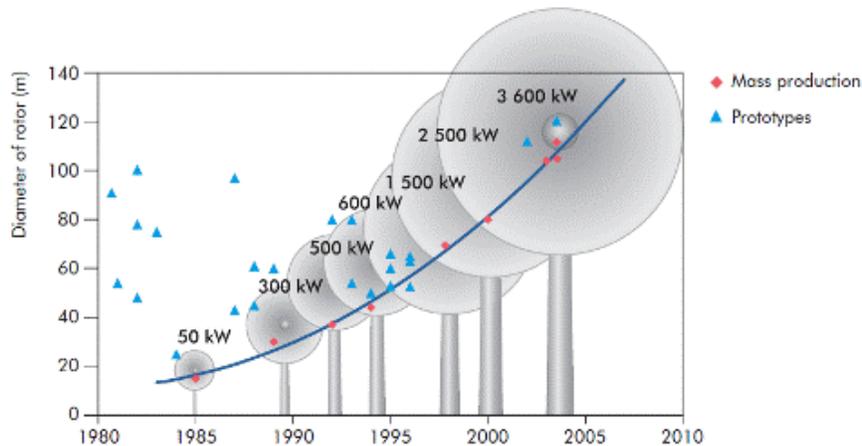


Tabla 04 y figura 05: evolución de los aerogeneradores en cuanto a su tamaño
Asociación Empresarial Eólica, 2009

Con base en los conocimientos elementales y necesarios para comprender el funcionamiento de un generador eólico, podemos concluir que la arquitectura de los generadores eólicos es sumamente importante por el potencial que representa para derivar en proyectos altamente sustentables y con muchos beneficios para la sociedad y, sobre todo, para el medio ambiente.



Teniendo claros los conceptos más básicos sobre generadores eólicos, será más fácil comprender cómo han ido evolucionando en su totalidad, o bien, en componentes puntuales. Lo anterior con el único objetivo de crear mecanismos más eficientes en todo aspecto y que ofrezcan mejores beneficios.

La introducción de energías renovables y eficiencia energética a todo nivel permitirá reducir la dependencia en el uso de los combustibles fósiles. Recordemos que la utilización de fuentes renovables de energía se debe a que dichos combustibles fósiles se agotan rápidamente y es necesario buscar una solución relativamente rápida al respecto. El consumo de energía no se detiene y el mundo es consciente de eso.

Por lo anterior, en el capítulo siguiente vamos a hacer un breve análisis del consumo mundial de energía.



CAPÍTULO III Breve análisis del consumo de energía a nivel mundial

Vamos a realizar un análisis de la situación mundial en cuanto al uso de la energía se refiere y de cómo se relaciona el consumo de la misma con el grado de desarrollo y de industrialización. Algo que cabe destacar es que, si bien el consumo de energía se ha incrementado por muchos factores, no se ha podido fijar una postura clara de qué se puede hacer para que sea más eficiente el consumo de energía mientras que, paralelamente, se busca la manera de suplir las tecnologías de fuentes fósiles *-que algún día no muy lejano se terminarán-* por otras tecnologías que puedan garantizar energía de manera oportuna para todos.

El consumo energético mundial aumenta sin cesar, impulsado tanto por el crecimiento socioeconómico de las naciones como por el aumento de la población mundial, que alcanzará los 9,100 millones en el año 2050. Las abundantes reservas mundiales de combustibles fósiles hacen suponer que este recurso seguirá siendo utilizado durante muchos años más.

Sin embargo, existe un límite que impone la protección y cuidado del ambiente ante la amenaza del calentamiento global. En este marco, se presenta un análisis de los factores relevantes del consumo de energía y se analizan los acontecimientos que condujeron al nuevo paradigma energía-ambiente, conjuntamente con algunas de las acciones que se toman en la actualidad para reducir la emisión global de gases contaminantes y el calentamiento global.

Consumo mundial de energía

Durante el siglo XX, el paradigma energético dominante se centró en producir energía, en cantidad abundante y de buena calidad. El efecto de su producción a gran escala no fue motivo de preocupación ambiental hasta fines de la década de los ochenta. Es claro que sin fuentes energéticas abundantes no hubiera sido posible sostener el ritmo de crecimiento económico mundial y alcanzar el grado de calidad de vida actual. Sin duda ese paradigma fue, en su momento, acertado (*Pasquevich, 2012*). Gran parte de los avances logrados internacionalmente en el cuidado de la salud, en la medicina, en las comunicaciones, en la producción de alimentos, entre otros beneficios, se deben al uso extensivo de las fuentes energéticas basadas principalmente en el uso de los llamados recursos fósiles: carbón, gas natural, petróleo y sus derivados.

Sin embargo, en la actualidad estos recursos se encuentran en el “banquillo de los acusados”. Son los principales responsables de las emisiones de dióxido de carbono, un gas que contribuye a aumentar el Efecto Invernadero y una amenaza a la estabilidad del clima del planeta. No obstante, es difícil creer que las principales naciones del mundo los reemplacen de forma inmediata. Y es también difícil creer que sea posible continuar con el ritmo de demanda energética mundial bajo las mismas pautas de consumo de energía que rigieron en el siglo pasado. Por ello, un cambio de paradigma es necesario. En especial cuando se sabe que el consumo energético mundial seguirá



umentando sin cesar, tanto por el crecimiento socioeconómico de las naciones como por el mayor consumo per cápita de la población mundial.

El aumento de la concentración de CO₂ es un dato medido, real y aceptado científicamente y está produciendo efectos negativos en nuestro entorno, tanto a nivel global como en nuestro entorno más cercano. Por este motivo, controlar y reducir las emisiones de CO₂ debería suponer una prioridad para todos.

Nuestros hábitos de consumo influyen notablemente sobre las emisiones de CO₂, y por tanto cualquier aproximación a los métodos de reducción de emisiones de CO₂ debería partir de un análisis de las fuentes de dichas emisiones. Dado que los combustibles fósiles son la causa directa de las emisiones de CO₂ analicemos qué combustibles y en qué proporción los estamos utilizando en la actualidad. Los datos más recientes de los que disponemos son del año 2011 y se pueden consultar en el documento BP Statistical Review of World Energy 2012 (*British Petroleum, 2012*).

De acuerdo a dichos datos recopilados por British Petroleum (2012), las tendencias en el consumo de energía primaria muestran un aumento sostenido en el tiempo (*figura 01*).

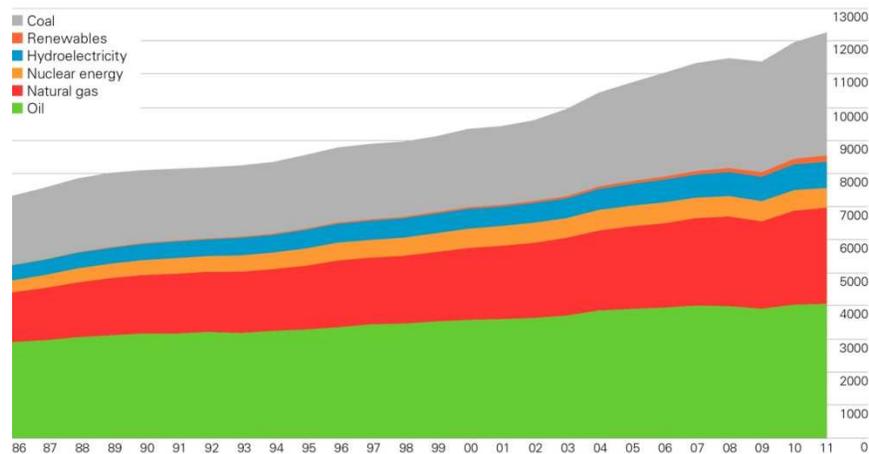


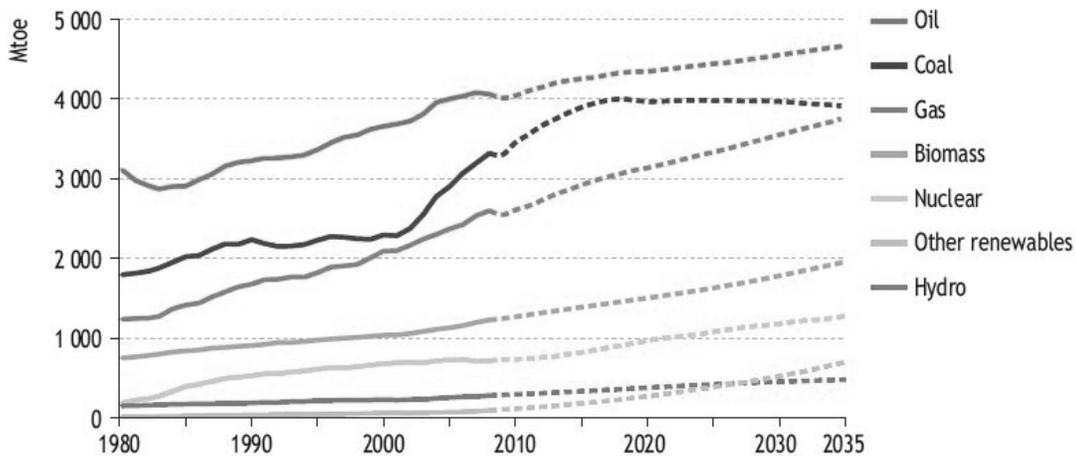
Figura 01: Consumo mundial de energía 1986-2011. Las unidades utilizadas son Mtoe (un millón de toneladas equivalentes de petróleo). La tonelada equivalente de petróleo (tep, en inglés toe) es una unidad de energía. Su valor equivale a la energía que rinde un tonelada de petróleo, la cual, como varía según su composición química, se ha tomado un valor convencional de 41,868,000,000 J (julios) = 11,630 kWh (kilo Watts-hora).

British Petroleum, 2012

De acuerdo a los datos mostrados, se puede afirmar que a pesar de que el petróleo es la fuente de energía más importante en cuanto a consumo, su importancia (*expresada en %*) ha disminuido significativamente y la contribución del carbón a este reparto es la más importante desde 1969.



Estas tendencias son corroboradas por el informe de la Agencia Internacional de Energía: World Energy Outlook 2011 (IEA, 2012), que además prevé para los próximos años un reparto muy similar del mix energético (figura 02), en el que destaca el aumento de la importancia del carbón. Al carbón se le atribuye casi el 50% del aumento del consumo de energía global en la época pasada.



**Figura 02: Histórico y previsiones de consumo de energía primaria en el mundo
IEA: World Energy Outlook, 2011**

Los datos mostrados en las figuras 01 y 02 son claros: a pesar de la importancia creciente de las energías renovables y la biomasa es necesario adoptar medidas de mitigación de las emisiones de CO₂ procedentes de combustibles fósiles para combatir, al menos en parte, el aumento de emisiones que van a producirse en los próximos años.

Ya sabemos que los combustibles fósiles generan CO₂ y que en los próximos años va a aumentar el consumo de combustibles fósiles. Lo importante ahora es conocer en qué sectores se presentarán los incrementos más significativos. Este hecho es fundamental pues en función del punto de emisión de CO₂, de su localización y de su concentración, dependerán las medidas que puedan adoptarse (figura 03).

Es importante remarcar que casi dos terceras partes de las emisiones de CO₂ se producen en los procesos de generación de electricidad y calor junto con el sector transporte. También es importante señalar que si bien las emisiones de CO₂ procedentes de las empresas energéticas están localizadas en un punto concreto (*plantas generadoras de energía eléctrica a partir de carbón, gas natural y/o petróleo*), las emisiones procedentes del sector transporte (*que además en su mayor parte corresponden con el transporte por carretera*) son difusas y ambos casos (*sector de generación de electricidad y calor por un lado; sector transporte por el otro*), requieren soluciones diferentes y adaptadas a sus propias características. Esto hace que la solución para la reducción de emisiones de CO₂ no sea única sino que requiera la cooperación de diversas actuaciones y de apuestas políticas, económicas y sociales en diversos ámbitos, potenciando por supuesto el uso y



promoción de tecnologías de energías renovables pero siendo conscientes de la situación de partida y previsible evolución de los próximos años.

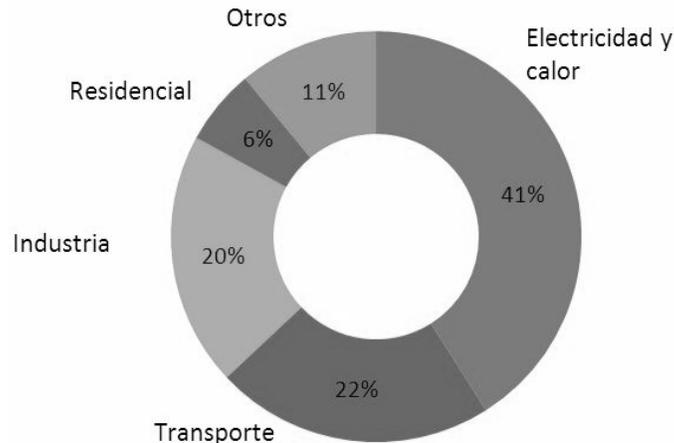


Figura 03: Emisiones globales de CO₂ por sector (2010). En la división “otros” se incluyen: servicios públicos y/o comerciales, agricultura, pesca, industrias energéticas distintas de las de generación de electricidad y calor y otras emisiones no especificadas.

IEA, 2012

Incremento en el consumo de energía per cápita

En las Naciones Unidas, se estima que la población mundial, que en la actualidad es poco más de 7,000 millones de personas, aumentará a 9,100 millones para el año 2050 (*World Population Ageing 1950-2050*). Es fácil comprender que mayor cantidad de personas en el mundo conducirá a un mayor consumo de energía. Un consumo que será, en cierta medida, independiente del desarrollo económico de las naciones, ya que estará asociado a la mayor cantidad de energía que cada persona utilizará a diario (*figura 04*).

De acuerdo a Pasquevich (2012), cuando se intenta construir proyecciones razonables, se debe tener en cuenta que el consumo energético aumentará probablemente en una dimensión mayor a la directamente proporcional a la cantidad de personas. Esa tendencia se ha evidenciado en las últimas décadas, junto al explosivo aumento de la producción de bienes y servicios producidos en la segunda parte del siglo XX.

Suena razonable pensar que la proporción entre población y consumo de energía debería seguir un patrón más o menos lineal: a más gente en el mundo mayor consumo de energía. Sin embargo, en las últimas décadas la correspondencia directa se alteró y cada generación pasó a consumir más energía que la anterior.



Los requisitos de mayor producción de alimentos y agua potable, mayor consumo energético en la iluminación de ciudades más pobladas, mayor producción de ropa, mayor explotación de materias primas, etc. no surgen sólo de la mayor población, sino también del consumo más intensivo de cada individuo (figura 05).

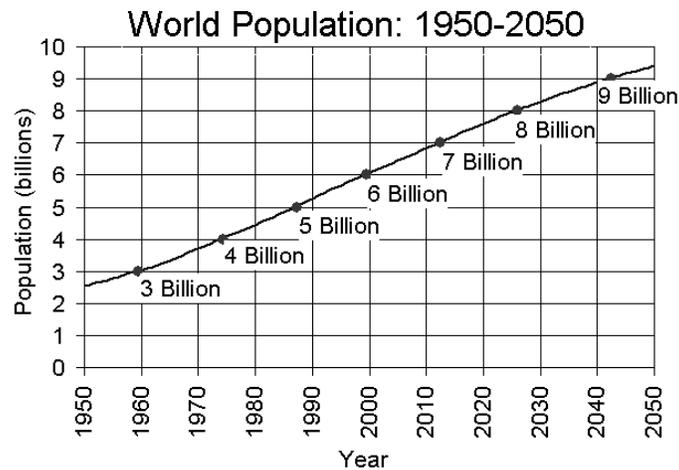


Figura 04: Proyección del crecimiento mundial de la población 1950 a 2050.
World Population Ageing 1950-2050, 2002

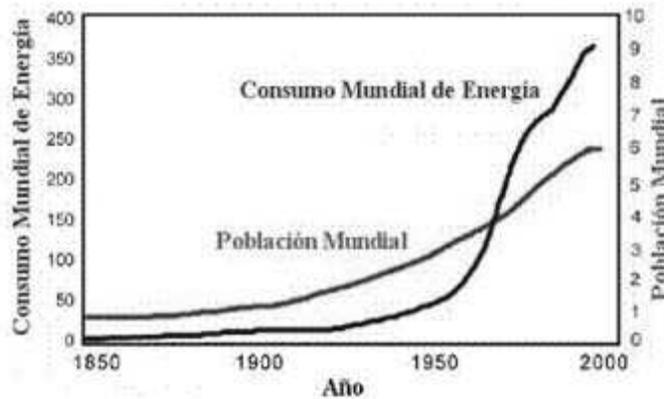


Figura 05: Evolución del consumo mundial de energía contra el aumento de la población mundial. *Hasta aproximadamente 1950 las curvas mantuvieron un crecimiento similar. Esto es el mayor consumo de energía se debía principalmente a la mayor población. En cambio, en las últimas décadas del siglo XX el consumo energético aumenta más rápido que la población mundial.*
Pasquevich, 2012

Las necesidades energéticas del hombre actual son mayores que antes y muy variadas. Por ejemplo, requiere más energía para el transporte. Muchas personas se trasladan a diario largas



distancias para concurrir a fábricas u oficinas muy distantes de sus domicilios. Muchos viajan cientos de kilómetros para asistir a reuniones de trabajo, o para disfrutar de sus vacaciones.

Estos kilómetros y kilómetros recorridos a diario evidentemente representan un mayor consumo de combustibles. El hombre actual utiliza una cuota de energía para mantenerse continuamente informado y actualizado de los acontecimientos y sucesos que ocurren en las otras partes del mundo, o bien para comunicarse a diario con más personas. La dieta diaria ya no sólo se compone de productos y materias primas de la región en la que vivimos. Ahora consumimos alimentos que llegan de todas partes del mundo, que exigen energía utilizada en el transporte y en la conservación refrigerada.

Antes, la consulta al médico, cuando era de rutina y no representaba nada grave, se limitaba a sus preguntas y tal vez a algunas recomendaciones. En la actualidad, empero, casi todas las consultas derivan en estudios clínicos de rutina que utilizan instrumentos o equipos sofisticados que requirieron energía para ser fabricados y que demandan energía para ser utilizados. Hoy la medicina preventiva *-que es una de las razones de la mayor expectativa de vida-* se sustenta en esos instrumentos y técnicas de estudio.

Nuestros hogares disponen también de un mayor confort asociado a una mayor cantidad y diversidad de electrodomésticos y a una mejor ambientación. En algunos lugares del mundo se pueden encontrar las denominadas “viviendas inteligentes”, que se hallan prácticamente automatizadas para brindar las condiciones de temperatura y luminosidad óptimas a cada persona además de las condiciones de seguridad apropiadas.

En suma, la mayor calidad de vida, el ritmo de vida del mundo globalizado, el transporte, las comunicaciones, el mayor consumo, el confort, son las verdaderas razones, entre otras, de que el hombre consuma en la actualidad más energía per cápita. Por ese motivo es razonable pensar que cuanto mayor es el consumo de energía por habitante de un determinado pueblo, ciudad, sociedad, o nación, mayor es su calidad de vida y desarrollo socioeconómico. Y en efecto, así se piensa en las Naciones Unidas, que han establecido que la energía consumida por habitante es un indicador de desarrollo socioeconómico.

Consumo de energía y grado de industrialización

En la civilización moderna, la disponibilidad de energía está fuertemente ligada al nivel de bienestar, a la salud y a la longevidad del ser humano. En términos generales, vivimos en una sociedad que se puede denominar como gran consumidora de energía. En esta sociedad, los países más pobres muestran los consumos más bajos de energía, mientras que los países más ricos utilizan grandes cantidades de la misma. Sin embargo este escenario está cambiando de forma drástica, mismo que se acentuará en los próximos años, donde serán precisamente los países en vías de desarrollo quienes experimenten con mayor rapidez un aumento en su consumo de energía debido al incremento que tendrán tanto en sus poblaciones como en sus economías.



En la actualidad, ser un país altamente industrializado implica ser un país que consume grandes cantidades de energía pues, como se mencionó arriba, el consumo de energía sirve para medir el desarrollo. Muchos países consumen más energía de la que producen, por lo que han de comprarla en el exterior.

De acuerdo a los últimos datos disponibles del anuario Global Energy Statistical Yearbook 2011 (*Enerdata, 2012*), China y Estados Unidos son los países que más energía consumieron durante el 2011.

Ponemos a continuación el “top 10” de los países que más energía consumieron durante 2011. No se debe perder de vista el hecho de que muchos de estos países, en la actualidad, están apostando e impulsando fuertemente el uso de energías renovables para empezar a suplir fuentes no renovables (*figura 06*).

▼ Ranking major countries	
Year : 2011	Unit : Mtoe
Highest ten Lowest ten	
Country	Value
China	2 648
United States	2 225
India	759
Russia	725
Japan	469
Germany	317
Brazil	268
Canada	266
South Korea	257
France	257

Figura 06. Listado de los 10 países que más energía consumieron durante 2011.
Global Energy Statistical Yearbook 2011
Enerdata, 2012

Estados Unidos y China se encuentran prácticamente empatados en la primera posición. Nótese como se despegan de manera impresionante del resto de los países al consumir aproximadamente 3 veces el consumo de la India.



Conciencia social sobre el ambiente

Encontrar soluciones energéticas que permitan mantener el ritmo de crecimiento mundial, sin afectar al ambiente, depende del compromiso de todas las naciones y en especial de aquellas que son responsables en mayor medida del crecimiento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera (*Capra, 2010*).

Aun cuando el cuidado del ambiente preocupó al hombre desde hace siglos, la responsabilidad internacional es más reciente y, tal vez, las acciones tomadas oportunamente en Montreal para proteger la capa de ozono es un claro ejemplo de ello.

Recordemos que el Protocolo de Montreal fue suscrito en 1987 y en la actualidad unas 180 naciones se han comprometido a cumplir con sus metas de reducción en la producción de gases CFC (*clorofluorocarbonos*), halones y bromuro de metilo, cuya presencia en la atmósfera es considerada la principal causa del adelgazamiento en la capa de ozono.

En coincidencia con el Día Mundial de la Preservación de la Capa de Ozono, el 16 de septiembre de 2002, fueron divulgadas las conclusiones preliminares de una evaluación científica sobre este problema. Los especialistas dijeron que el Protocolo de Montreal se ha cumplido y que en los próximos años la capa de ozono podría recuperarse pero también advirtieron que será necesario continuar honrando los acuerdos internacionales para mantener esa tendencia.

De acuerdo a Masters (*1995; citado en Pasquevich, 2012*), durante la mayor parte del siglo XX, la preocupación social por el ambiente no se orientó a cuestiones energéticas. Se centró en los residuos producidos por la industria química, los vertidos y derrames generados en las explotaciones mineras y los desechos urbanos diarios. Por otro lado, en las grandes urbes, el centro de la atención lo tuvo la contaminación ambiental producida por las chimeneas de las fábricas o por los gases emitidos por los automóviles. Esta última fuente de contaminación, que en la actualidad se reconoce como de origen energético, en su tiempo no llegó a la sociedad como un problema originado por el uso de los combustibles fósiles y, por ello, originalmente no fue asociado al uso de la energía.

En efecto, la tendencia hasta fines de la década de 1980 fue asociar la contaminación generada por el transporte automotor con una cuestión de la mala combustión en los motores de los automóviles. Así lo plantearon las grandes empresas automotrices y así lo reprodujeron los medios periodísticos. Se asumió entonces que si la contaminación ambiental generada por el uso de los automóviles se originaba en la mala operación de los motores a combustión interna, lo único que había que mejorar era la combustión misma o la tecnología de los vehículos (*Capra, 2010*).

Sobre esta idea se implementaron medidas para reducir la emisión de los vehículos: se instalaron catalizadores en los caños de escape y se mejoró la calidad ambiental de los combustibles al eliminar el uso del plomo que hasta entonces se utilizaba para aumentar el octanaje y reducir la cantidad de azufre residual del petróleo original. Mejoras todas ellas importantes y necesarias y, por ello, bienvenidas por la sociedad para contribuir a un aire más limpio, pero inservibles respecto



a la emisión de dióxido de carbono, un gas que, por cierto, hasta entonces no era considerado un problema ambiental.

Conciencia social sobre el consumo de energía

A diferencia de la llamada conciencia ambiental que maduró en la sociedad durante la última parte del siglo pasado, la preocupación internacional por la cuestión energética se instala en la opinión pública hace sólo unos pocos años. Y se instala de dos maneras:

- a) tomando conciencia de que la explotación de los recursos energéticos tiene un límite;
- b) comprendiendo que el ambiente está en riesgo frente al consumo descontrolado de los recursos fósiles.

La primera ocurre hacia principios de la década de 1970, cuando los países productores de petróleo acuerdan un embargo internacional. Allí es cuando la sociedad comprende que las fuentes de energía como el petróleo son limitadas y sujetas al arbitrio de sus productores. En aquel momento el embargo petrolero despierta la necesidad de invertir en la búsqueda de fuentes de energía alternativas a los combustibles fósiles. En especial, la iniciativa la enarbolan las naciones que carecen de yacimientos de gas, petróleo o carbón, como es el caso de gran parte de Europa, o las naciones llamadas “grandes consumidoras”, como los Estados Unidos de Norteamérica.

Surgen entonces las primeras acciones definidas para el desarrollo de las fuentes renovables de energía. Pero al poco tiempo, hacia fines de la década de 1970 y principios de la de 1980, el empuje de las energías alternativas -como se llamaba en aquel entonces a las energías renovables- se detiene. La razón: una combinación de nuevos yacimientos y comprobaciones de altas reservas de los recursos fósiles, junto a cuencas petroleras en plena producción (Gil, 2009).

Hasta esa época, y al margen de los cuestionamientos, la generación nuclear de electricidad seguía creciendo con paso firme pero, justamente con el descubrimiento de los nuevos yacimientos de combustibles fósiles, muchas naciones europeas comenzaron a limitar el uso de la energía nuclear.

Plebiscitos en países como Italia y Suecia llevaban a la prohibición de la construcción de nuevas centrales nucleares. La cuestión energética basada en los recursos fósiles parecía estar cubierta por un largo tiempo y la cuestión ambiental no era materia de preocupación.

La segunda toma de conciencia internacional ocurre a fines de la década de 1980. En esa época, el científico James Hansen, que realizaba investigaciones en la NASA sobre la atmósfera de Venus, aplica sus investigaciones a la atmósfera de la Tierra. En 1988, convencido de sus resultados, brinda una conferencia ante el Senado de Estados Unidos donde da a conocer algunos de los puntos más importantes de su informe titulado Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model (Hansen, 1988).



Allí advierte que disponía de datos y un modelo matemático que le permitía asegurar que el planeta estaba ante un calentamiento y que el clima estaba cambiando. Sus declaraciones tomaron estado público y fueron avaladas por estudios posteriores de otros científicos. Surgió, a partir de entonces, la idea del Calentamiento Global, y con ello un nuevo paradigma que cambiaría la forma de entender la producción de energía.

Vale la pena detenernos en un extracto de una entrevista realizada a James Hansen 20 años después de la conferencia, para entender la repercusión de las ideas de este científico (Larios, 2009):

“El 20 de junio de 1988, testifiqué en la audiencia de una comisión, presidida por el senador Tim Wirth de Colorado, que la tierra mostraba una tendencia al calentamiento a largo plazo, y que ello se debía casi con toda seguridad a los gases de efecto invernadero provocados por el hombre.

Señalé que el calentamiento global potenciaba ambos extremos del ciclo hidrológico, es decir, incendios forestales y sequías más pertinaces por una parte, pero también lluvias más intensas e inundaciones. Mi testimonio fue recibido con escepticismo hace dos décadas. Aunque el escepticismo es la savia de la ciencia, puede confundir a la gente.

Mis conclusiones de 1988 se basaban en una amplia gama de datos procedentes de la física elemental, estudios planetarios, observaciones de los cambios en curso y modelos climáticos. Los indicios eran lo bastante sólidos como para que pudiese decir que había llegado el momento de “dejarse de palabrería”. Estaba seguro de que, con el tiempo, la comunidad científica llegaría a un consenso semejante, como así fue. A pesar de que el reconocimiento internacional del calentamiento global fue rápido, se ha vacilado a la hora de actuar. Estados Unidos se rehusó a poner cota a sus emisiones, y algunos países en vías de desarrollo, como India y China, aumentaron rápidamente sus emisiones.”

La anécdota anterior viene a ser un ejemplo de la situación que en la actualidad se presenta en el campo energético y que será probablemente dominante durante gran parte del siglo XXI. La nueva situación que enfrenta -y enfrentará- a dos hechos fundamentales asociados a la calidad de vida de las personas en todo el mundo se puede resumir en: producir abundante energía y preservar el ambiente.

Energía y ambiente: nuevo paradigma

Es cierto que las naciones requieren, tanto por su crecimiento demográfico como por su desarrollo socioeconómico, de cantidades crecientes de energía. Esta situación las lleva a explotar las fuentes energéticas de manera intensiva utilizando para ello los recursos de que disponen, sean éstos renovables o no renovables. Es también cierto que el ambiente no permanece imperturbable ante la explotación intensiva de los recursos energéticos. Ya no es válido, como lo fue hasta fines



de los ochenta, que los gobiernos se preocupen sólo por disponer de energía abundante, barata y segura en su suministro. En la actualidad la sociedad demanda, y exige, que se preserve el ambiente. Por ello el nuevo paradigma energético establece que frente a la enorme demanda mundial de energía existe un límite impuesto por la necesidad de cuidar y preservar el ambiente.

De acuerdo a Capra (2010), el ambiente hoy como nunca está amenazado si no se hace un uso racional de los recursos renovables y no renovables. Cada día es más frágil frente a la mayor explotación de los recursos energéticos. Si bien el reciente accidente de British Petroleum en la costa norteamericana es un ejemplo de una de las maneras que la explotación intensiva de los recursos daña al ambiente, a la cabeza de todos los perjuicios ambientales se encuentra la amenaza del cambio climático (*figura 07*).



Figura 07: Una imagen que recorrió el mundo para mostrar la gravedad del accidente de BP. Institute for Ethics and Emerging Technologies, 2012

Las anormales sequías en un hemisferio del globo terráqueo, o las extensas inundaciones en el otro, los violentos huracanes y tornados que azotan con más frecuencia las costas del Atlántico y el Pacífico y la extensión anormal de las fronteras de distintos tipos de virus parecen ser las primeras manifestaciones de la amenaza que se cierne sobre el clima del planeta.

Evidentemente, el cambio climático no es únicamente una predicción sino que se trata de un fenómeno real y sus impactos ya están dejándose notar en nuestro planeta. Resulta inevitable darse cuenta de que la amenaza de impactos irreversibles es mucho más inmediata de lo que hubiéramos podido imaginar pues prácticamente no existe una sola población o región del mundo que quede liberada de los impactos del cambio climático.



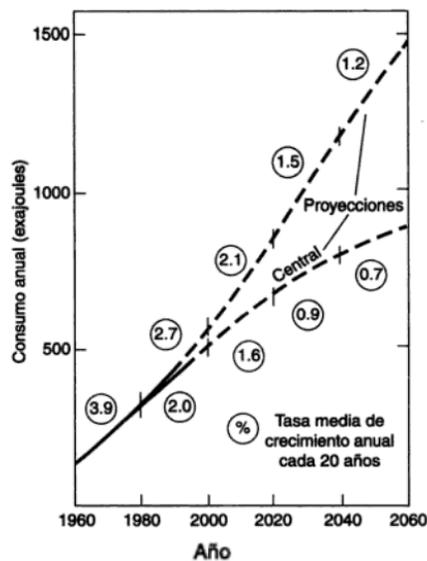
Generación de energía frente al ambiente

Se sabe que toda explotación de los recursos naturales, sean o no renovables, tiene su efecto sobre el ambiente y, en particular, la producción masiva de energía no está exenta de ello. La mayoría de las personas acostumbramos a ver o analizar sólo el resultado o el impacto final de la producción de energía y olvidamos la cadena de recursos necesarios y acciones que deben realizarse para alcanzar toda la producción energética.

De acuerdo al documento Fourth Assessment Report: Climate Change (2007, Intergovernmental Panel on climate change), muchas veces, así como no vemos el costo energético global de implementar una tecnología, también olvidamos el costo ambiental global de una actividad humana.

Suele ocurrir que no tenemos presente el impacto ambiental de la producción de las maquinarias, materiales, instalaciones o construcciones que se requieren para utilizar una determinada fuente de energía. Sólo miramos el ambiente desde el resultado final, lo cual, por supuesto es incorrecto pues debemos tener siempre presente que el ambiente de la Tierra es único.

Toda generación de energía tiene su factor de impacto sobre el ambiente. Sin embargo, no todas impactan de la misma manera; pero el calentamiento global originado en la acumulación en la atmósfera de gases efecto invernadero parece ser la más perjudicial.



**Figura 08: Proyección sobre producción mundial de energía primaria
Glynn, 1999**

Vemos que a pesar de esta amenaza existen proyecciones del consumo de energía que indican que los recursos fósiles seguirán siendo utilizados durante muchos años y vemos que los países



industrializados continúan manifestando dudas en las acciones a realizar. Incluso, en el mejor de los casos, si se toman medidas y acciones para aminorar el impacto ambiental debido al uso de los recursos fósiles, vemos que se los seguirá utilizando de una manera relativamente importante para el año 2025, de acuerdo a una serie de proyecciones iniciadas en 1949 por Palmer Putnam (*Glynn, 1999*), que hoy en día siguen siendo una lectura fascinante (*figuras 08 y 09*).

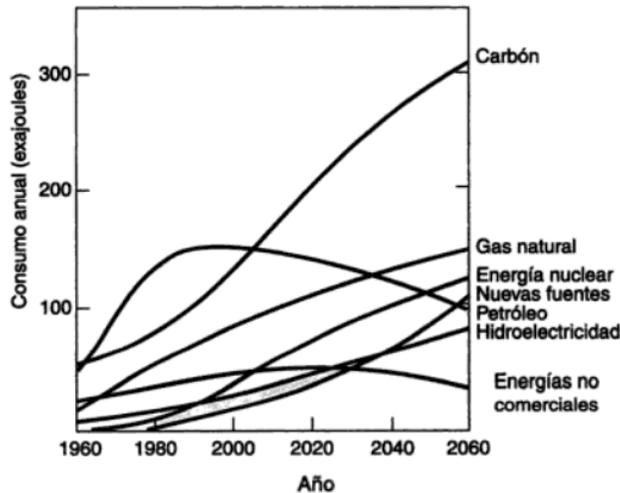


Figura 09: Proyección sobre la evolución del suministro mundial de energía. Glynn, 1999

Cabe preguntarnos en estos momentos qué está ocurriendo pues pareciera que no existe una mayor proporción de tecnologías que no contribuyan al cambio climático.

De acuerdo a Gil (2009), las razones que se esgrimen son varias. Entre ellas surgen las siguientes enlistadas junto a su contraparte:

La mayor parte de las energías renovables son intermitentes y de carácter geográfico: viento, sol, geotermia.	Las energías renovables son de carácter inagotable.
La mayor parte de las energías renovables presentan bajos factores de carga.	Se genera mucha controversia en relación al factor de planta (<i>producción anual de energía dividida por la producción teórica máxima, si la máquina estuviera funcionando a su potencia máxima durante todo el año</i>) debido a que generalmente se preferiría tener un gran factor de planta (<i>cercano al 100%</i>) aunque no siempre puede ser una ventaja desde el punto de vista económico (<i>costo del aerogenerador</i>). En el caso puntual de la energía eólica, el tener un alto o bajo factor de planta depende tanto de las condiciones eólicas del lugar como del precio de los diferentes modelos de turbinas. Cuando se hace un análisis puntual de las condiciones eólicas y del costo del



	<p>generador, se tiene la posibilidad de elegir entre tener un producción de potencia relativamente estable (<i>cerca del límite de diseño del generador</i>) con un alto factor de planta, o bien una alta producción de energía (<i>que fluctuará debido a las condiciones del lugar</i>) con un bajo factor de planta. Lo anterior se muestra en el siguiente ejemplo:</p> <p>Generador de 600 kW Producción en un año: 1.5 millones de kWh</p> <p>600 kW x 1 año = producción teórica máxima total del generador</p> $600 \text{ kW} \times \frac{365.25 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = 5259600 \text{ kWh}$ <p>El factor de planta estará definido entonces por:</p> $\frac{1500000 \text{ kWh}}{5259600 \text{ kWh}} = 0.285192; \quad 28.5192\%$ <p>Los factores de planta pueden variar en teoría del 0 al 100, aunque en la práctica el rango de variación va del 20 al 70 por ciento, y muy frecuentemente están alrededor del 20 al 30 por ciento.</p>
<p>Económicamente las energías renovables no compiten con los bajos precios de los combustibles fósiles.</p>	<p>De acuerdo al informe de la International Renewable Energy Agency "Renewable Power Generation Costs in 2012: An Overview" (IRENA, 2012), los costos de varias tecnologías renovables han bajado considerablemente.</p> <ul style="list-style-type: none">• Por ejemplo, la biomasa para producción de electricidad es ya competitiva en zonas donde existe disponibilidad de residuos agrícolas y forestales a bajo precio. Con proyectos que están produciendo electricidad por tan solo 0.06 dólares por kWh.• Los costos de la energía termo solar han caído hasta los 0.14 dólares por kWh. Mientras que la energía hidráulica, la principal fuente renovable de producción de electricidad en la actualidad, ofrece los costes más bajos de todas las tecnologías.• La solar fotovoltaica, que ha vivido un desarrollo espectacular en los dos



	<p>últimos años, está ya preparada para alcanzar la paridad de red con las tarifas eléctricas que paga el consumidor en muchas zonas del mundo. Ahora, sus costes van desde los 0.16 a los 0.36 dólares por kWh.</p> <ul style="list-style-type: none">• Las zonas de buenos vientos permiten a la eólica terrestre entregar energía a 0.04 dólares por kWh.• En comparación, la electricidad generada con combustibles fósiles cuesta hoy entre 0,06 y 0.012 dólares kWh en los países de la OCDE. Y eso sin contar el coste del transporte y la distribución. <p>El petróleo se acerca (<i>o ya superó</i>) a su punto máximo de producción. Esto significa que la cantidad de petróleo extraído de la tierra irá disminuyendo con los años. A medida que el petróleo empiece a escasear y sea más difícil de recuperar, se transformará en un combustible cada vez más caro aunque las reservas mundiales de los combustibles fósiles son abundantes y podrán ser explotadas durante décadas asegurando energía a bajos precios.</p>
<p>Las energías renovables, como la solar y la eólica, son energías no constantes y requieren grandes cambios de infraestructura de almacenamiento, transporte y distribución para reemplazar una parte importante de los recursos fósiles.</p>	<p>Hay que derribar el mito de que la salvación a los problemas energéticos son única y exclusivamente las energías renovables. Los paneles solares sólo funcionan cuando está el sol brillando y las turbinas eólicas cuando el viento sopla a cierta velocidad. Así que las renovables sólo podrían ser usadas como "suministradores de energía pico" mientras que la carga base de poder de 24 horas al día, siete días a la semana que mantiene a las escuelas, hospitales, estaciones de policía, etc., funcionando viene en gran medida de combustibles fósiles.</p> <p>Está claro que los combustibles fósiles son requeridos en copiosas cantidades para desarrollar y mantener la naciente infraestructura para un régimen renovable. De hecho, ese es el mejor uso posible para estos combustibles finitos en rápido declive. Entonces, los renovables pueden aliviar la caída de la era de los combustibles fósiles, la cual alimentó a la civilización de más uso intensivo de energía en el planeta.</p> <p>El que actualmente las tecnologías renovables no superen la cantidad de energía que se produce a partir de fuentes fósiles no significa que no sea necesaria. Cuando la energía fósil vaya escaseando, será necesario contar con energía que ayude a mantener en funcionamiento todo el planeta.</p>



<p>Reemplazar totalmente los combustibles fósiles tiene un alto costo económico que las naciones no están dispuestas a afrontar.</p>	<p>Actualmente hay un creciente apoyo de los gobiernos a las tecnologías renovables. Apoyo que obedece a los esfuerzos por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y al deseo de diversificar la oferta y la seguridad en el suministro de energía. Además de lo anterior, existe un impacto positivo de las tecnologías renovables sobre la creación de empleos. En consecuencia con estos propósitos, cada vez más gobiernos están adoptando objetivos y tomando medidas para aumentar la participación de las renovables en el mix energético. Según la IEA (<i>International Energy Agency</i>), la base de recursos para las renovables es muy amplia y puede satisfacer una parte considerable de la demanda energética mundial. No obstante, la mayoría de las renovables no son competitivas en las actuales condiciones de mercado y dependen en gran medida de estos incentivos públicos.</p>
<p>La infraestructura energética actual está preparada para los combustibles fósiles, reemplazarlos implicaría también modificar por completo el sistema de producción, transporte y distribución final a los usuarios con el alto costo económico y de infraestructura asociado.</p>	<p>Resulta obvio mencionar que se requiere hacer adecuaciones en la infraestructura actual para darle cabida a las tecnologías renovables. Si sabemos que se ha trabajado muy duro desde que la revolución industrial empezó a construir la enorme infraestructura para la minería, perforaciones, transporte, refinería y distribución de combustibles fósiles, por qué no empezar a trazar los planos de una nueva infraestructura energética que permita aminorar los daños causados al ambiente mientras que, de forma gradual, se va dando mayor peso al uso de tecnologías renovables.</p>

Probablemente podríamos agregar otros elementos a ambas listas. Pero con estos pocos que mencionamos es suficiente para darse cuenta de que las actuales medidas energéticas que rigen la política internacional y los intereses económicos en juego no están alineados en pos del reemplazo inmediato de los combustibles fósiles. Poco es lo que pueden hacer los países en vía de desarrollo si los mismos países industrializados no modifican la situación que su voraz desarrollo industrial generó.

De acuerdo a Closs (2006; citado en Pasquevich, 2012), sólo dos razones de carácter internacional pueden decrecer la participación de los recursos fósiles en la matriz energética mundial: la primera está asociada al agotamiento de los recursos, lo cual conduciría a que su extracción resulte en precios altos de manera que no compitan con otras fuentes. Algo que es poco probable, porque según vemos en las proyecciones y en los informes mundiales sobre reservas, los recursos fósiles son abundantes y estarán disponibles por un largo tiempo.

La segunda posibilidad, que no es deseada por nadie, pero que podría ocurrir, es que los daños y perjuicios económicos asociados al Cambio Climático alcancen tal magnitud que las presiones sociales y los daños económicos obliguen a los gobiernos a abandonar el uso de los recursos fósiles y a implementar de manera masiva las energías renovables y aumentar la proporción de energía nuclear, eólica, solar e hidroeléctrica en la matriz energética mundial.



Acciones para reducir el impacto ambiental de la producción de energía

Pasquevich (2012), señala que, si bien no se avizora que sea posible el reemplazo sustancial de los combustibles fósiles ni en el corto ni en el mediano plazo, existen hoy algunas líneas de acción que tienen el consenso internacional y que están encaminadas en la dirección correcta. Estas pueden agruparse en tres. A saber:

- a) Reducir la relación CO₂/ kW al utilizar recursos fósiles: esta opción requiere liberar menos dióxido de carbono a la atmósfera por cada kilovatio hora de energía que se produce o consume en el mundo al utilizar recursos fósiles. Este concepto implica el desarrollo de nuevas tecnologías energéticas que, si bien siguen utilizando recursos fósiles, lo hacen de manera más eficiente. Bajo esta idea podemos citar:
 - *Los vehículos con motores de combustión interna de última generación que mejoran sensiblemente los kilómetros recorridos por litro de combustible utilizado, emitiendo de esa forma menos dióxido de carbono por unidad de energía.*
 - *Los vehículos híbridos que reducen las emisiones al utilizar un motor eléctrico y recuperar energía en los procesos de frenado, con un uso más eficiente del combustible.*
 - *Las centrales de gasificación, ya sea de carbono o de derivados pesados del petróleo, evitan la emisión a la atmósfera de sustancias como mercurio, azufre y cenizas que contienen metales pesados.*
 - *La captura centralizada del dióxido de carbono, bombeo y almacenamiento subterráneo, en galerías y antiguos yacimientos de gas o petróleo para que quede atrapado en las entrañas de la Tierra.*

- b) Diversificar la matriz energética: en la figura 08 vimos que en los últimos cuarenta años el uso de la energía fósil aumentó en comparación con el uso de todas las fuentes de energías primarias. Es posible cambiar esta tendencia diversificando la matriz energética de cada país. Esto quiere decir que es importante incorporar más fuentes de energías renovables y de tecnologías maduras como la nuclear y la hidroeléctrica en gran escala (figura 10).

Las energías renovables, si bien son aún más costosas que el uso de los recursos fósiles, deben comenzar a ser utilizadas de manera paulatina a efectos de que el público se familiarice con ellas. También el sistema eléctrico nacional la debe de incorporar como una fuente primaria conectada. Por suerte esta tendencia se ve en aumento en muchos países y es más pronunciada en Europa. Países como España, Dinamarca, Holanda y Alemania han invertido en su uso, en el marco del compromiso asumido por la Comunidad Europea de alcanzar el 20% de energía renovable en la matriz energética de cada uno de los países



miembros. La diversificación incluye también el uso de combustibles no fósiles, como bioetanol, biodiesel e hidrógeno. Los dos primeros son factibles de ser implementados ya de manera directa y el último es aún materia de investigación (IEA, 2011 citado en Pasquevich, 2012).

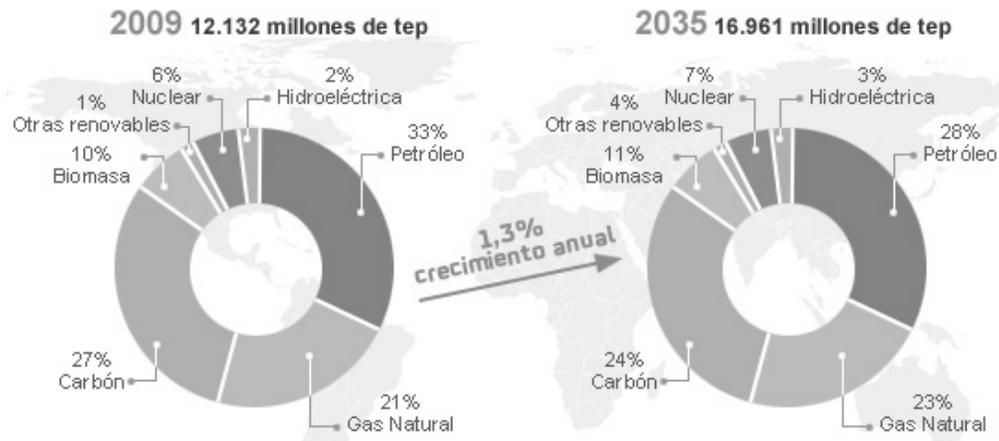


Figura 10: perspectiva de crecimiento de la demanda mundial de energía primaria (Matriz energética mundial)
Agencia Internacional de la Energía (IEA), 2011

Las energías renovables pueden también ser aplicadas en combinación con otras fuentes primarias. Se puede pensar, por ejemplo, en el desarrollo de un parque eólico junto a una central hidroeléctrica, para optimizar el uso del recurso hídrico y del eólico; este esquema incluso podría incluir, en el futuro, el almacenamiento de energía eólica a través de la producción de hidrógeno.

La diversificación de la matriz energética también incluye incrementar la participación de la energía hidroeléctrica y la nucleoelectricidad. La energía hidroeléctrica permitiría un mayor aprovechamiento de los cursos de agua, con cotas de diques más altas y nuevas centrales, incluso de pequeña escala para atender requerimientos energéticos regionales. La energía nucleoelectricidad es de importancia por tratarse de una fuente de energía cuyo suministro no depende de los factores climáticos, que tiene altos factores de carga y disponibilidad; de esa manera contribuyen muy eficientemente a la generación de base. Ninguna de las dos contribuye de manera directa al efecto invernadero ya que no generan emisiones de dióxido de carbono durante su operación aunque la producción de insumos y materiales para su construcción producen cierta cantidad de dióxido de carbono. Si bien no están libres de efectos ambientales, ellos son de naturaleza distinta.

- c) Ahorrar energía y mejorar la eficiencia energética: en términos generales, el consumo de energía de una nación se divide en cinco grandes componentes: domiciliario, público,



industrial, agropecuario y comercial (*transporte*). Los dos primeros tienen que ver con pautas sociales de consumo, materiales de construcción utilizados en las viviendas, electrodomésticos, artefactos de gas, sistemas eléctricos y climatización del hogar.

Las pautas de ahorro y eficiencia son importantes también para reducir el consumo de energía pública, como el alumbrado, o también para el reemplazo de lámparas de semáforos por LED's, o el de las lámparas incandescentes por las de bajo consumo o por tubos fluorescentes. Estas acciones, realizadas sin coordinación, aisladas o sólo por algunos individuos no tienen mayor efecto, pero sí son de gran importancia cuando se adoptan por la sociedad (*Capra, 2010*). El ejemplo más claro es el de Japón. Un país que no posee recursos energéticos propios, carece de reservas fósiles y de recursos naturales energéticos importantes y que cuenta con un alto Producto Interno Bruto es uno de los países industrializados que relativamente consume menos energía; sin duda Japón es una anomalía en las estadísticas pero un ejemplo claro de que la incorporación de pautas de ahorro y eficiencia en la sociedad sería una manera de reducir apreciablemente las proyecciones de consumo energético, con los lógicos beneficios ambientales al generar menos emisiones.

Como conclusión podemos decir que no podemos prescindir de la energía en ninguna de todas sus formas, pero somos conscientes de que un uso irracional y desmedido de las fuentes energéticas afectan negativamente al ambiente. La sociedad del siglo XXI se halla frente a un nuevo paradigma energético: incrementar la producción de energía con mínimas alteraciones al ambiente. Es mucho lo que hay que hacer en este sentido y va desde el cambio de tecnologías hasta incorporar nuevas pautas de consumo. Esto sólo es posible a través de la colaboración y compromiso internacional y la participación de la sociedad en su conjunto.

En el capítulo siguiente, veremos las acciones que han llevado a cabo algunos países para posicionarse como líderes en cuanto al uso de tecnología eólica se refiere.



CAPÍTULO IV

Energía eólica a nivel mundial

Tal y como vimos en el capítulo anterior, la causa que aparentemente es la más importante y fundamental para emigrar de las tecnologías de combustibles fósiles a las tecnologías de energías renovables sigue siendo, en primera instancia, la constante preocupación mundial por el cambio climático. Las distintas acciones comprendidas por los países en el mundo para hacer frente a dicha situación contemplan, en términos generales, un rediseño en las políticas energéticas y ambientales.

Recordemos que las políticas energéticas son acciones que inciden sobre la producción, la oferta y el uso de productos energéticos a fin de garantizar el suministro de energía de manera oportuna y eficiente. Una política ambiental, por su parte, tiene como principal eje conductor el desarrollo de objetivos encaminados al mejoramiento del medio ambiente, además de conservar los principios naturales de la vida humana a fin de fomentar un desarrollo sostenible. Como se ha mencionado previamente, una característica añadida recientemente y que hoy está presente en prácticamente todas las políticas ambientales a nivel mundial es evitar a toda costa el cambio climático.

La energía eólica, en conjunto con otro tipo de fuentes de energía llamadas renovables, ha tenido gran auge en los últimos años y constituye una de las formas de energía alternativa que más inversión está recibiendo actualmente por parte de los gobiernos y el sector privado. Vamos a ver a continuación, qué países están haciendo la labor más importante en el campo de la energía eólica.

Países líderes en la producción de energía eólica onshore (tierra)

De acuerdo a los datos de la Asociación Mundial de Energía Eólica (*World Wind Energy Association, 2011*), China, EEUU, Alemania, España y la India lideran los mercados del viento. Estos países líderes representan la mayor parte de la capacidad mundial de turbinas eólicas ya que representan en conjunto una cuota total del 67% de la potencia eólica mundial (*figura 01*).

Por razones de espacio, en este trabajo nos limitaremos a mencionar únicamente a los tres primeros países.

China

En la última década, la capacidad instalada para producir energía gracias al viento en China ha tenido un crecimiento exponencial (*Global Wind Statistics, 2012*). Mientras que en el año 2000 contaba con apenas 0.3 GW, para 2012 alcanzó los 75.5 GW: lo que equivale al 26.8% de la capacidad mundial instalada (*figura 02 y tabla 03*).



El país sigue mejorando en general su estructura energética de cara a un mayor aprovechamiento de las energías renovables y limpias. La buena infraestructura que están logrando en pocos años dará más resultados y así podrán asegurar un suministro energético limpio a mediano y largo plazo.

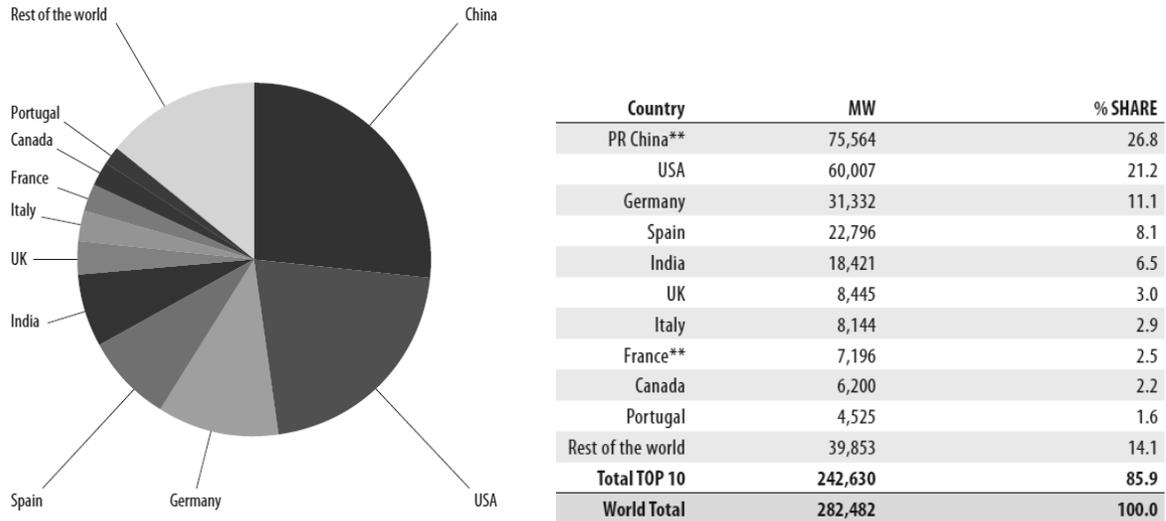


Figura 01: Capacidad instalada total en el mundo por concepto de energía eólica.
Global Wind Statistics, 2012

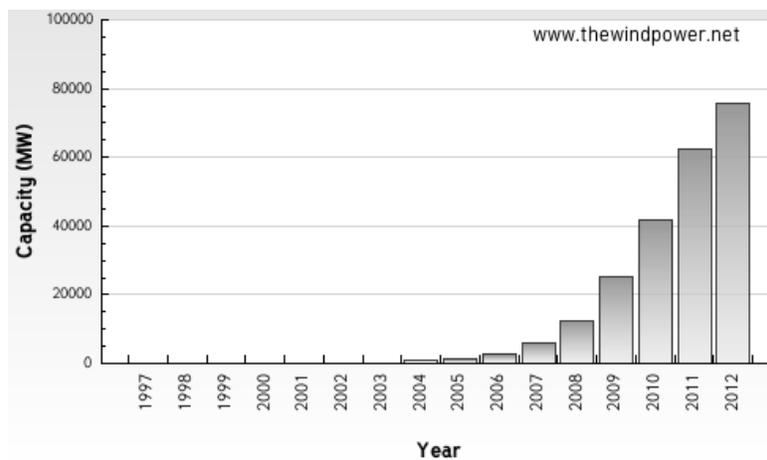


Figura 02: Crecimiento en la capacidad eólica instalada de China entre 1997 y 2012.
The Wind Power Database, 2012



- End 1997: 146 MW
- End 1998: 200 MW (+37 %)
- End 1999: 262 MW (+31 %)
- End 2000: 352 MW (+34.4 %)
- End 2001: 400 MW (+13.7 %)
- End 2002: 468 MW (+17 %)
- End 2003: 567 MW (+21.2 %)
- End 2004: 764 MW (+34.8 %)
- End 2005: 1,266 MW (+65.8 %)
- End 2006: 2,599 MW (+105.3 %)
- End 2007: 5,912 MW (+127.5 %)
- End 2008: 12,210 MW (+106.6 %)
- End 2009: 25,104 MW (+105.7 %)
- End 2010: 41,800 MW (+66.6 %)
- End 2011: 62,364 MW (+49.2 %)
- End 2012: 75,564 MW (+21.2 %)

Tabla 03: Capacidad de producción eólica por año para China entre 1997 y 2012.

The Wind Power Database, 2012

Estados Unidos

Reporta, hasta el final de 2012, una capacidad instalada de 60 GW, lo que lo coloca muy cerca del gigante asiático. Tiene 101 parques eólicos, uno de los cuales es el más grande del mundo: el Roscoe Wind Farm, que cuenta con 627 turbinas eólicas y una capacidad de producción de 781 MW (*Global Wind Statistics, 2012*). Si bien este es uno de los países con mayor producción de energía a partir del viento, no alcanza a cubrir su demanda eléctrica porque también es uno de los países que más energía consume.

La figura 04 nos muestra el crecimiento gradual que ha tenido Estados Unidos desde 1997 a 2012 en energía eólica.

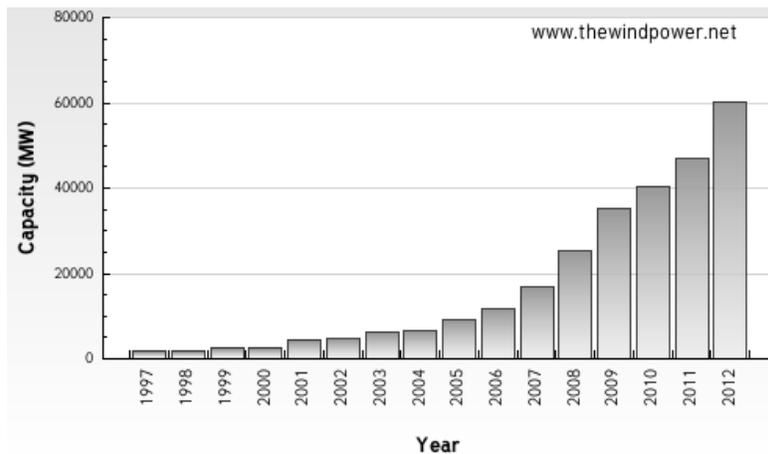


Figura 04: Crecimiento en la capacidad eólica instalada de Estados Unidos entre 1997 y 2012.

The Wind Power Database, 2012

La tabla 05 muestra la capacidad de producción anual del país americano.



Como dato adicional, diremos que la industria eólica de los Estados Unidos ha marcado al 2012 como el mejor año de su historia (*Barrero, 2013*). A lo largo de los 365 días del año pasado, la gran nación del norte de América sumó 13,124 MW a su parque eólico nacional. Solo durante el último trimestre del año, la potencia instalada fue de 8,380 MW, es decir, más de 90 MW cada día.

- End 1997: 1,673 MW
- End 1998: 1,820 MW (+8.8 %)
- End 1999: 2,534 MW (+39.3 %)
- End 2000: 2,564 MW (+1.2 %)
- End 2001: 4,258 MW (+66.1 %)
- End 2002: 4,685 MW (+10.1 %)
- End 2003: 6,370 MW (+36 %)
- End 2004: 6,725 MW (+5.6 %)
- End 2005: 9,149 MW (+36.1 %)
- End 2006: 11,603 MW (+26.9 %)
- End 2007: 16,819 MW (+45 %)
- End 2008: 25,170 MW (+49.7 %)
- End 2009: 35,159 MW (+39.7 %)
- End 2010: 40,200 MW (+14.4 %)
- End 2011: 46,919 MW (+16.8 %)
- End 2012: 60,007 MW (+27.9 %)

Tabla 05: Capacidad de producción eólica por año para Estados Unidos entre 1997 y 2012.
The Wind Power Database, 2012

Alemania

Tiene una capacidad instalada de 31.3 GW, lo que le permite cubrir aproximadamente el 9 % de su demanda energética (*Global Wind Statistics, 2012*). Dispone de 21,607 aerogeneradores repartidos por todo su territorio; uno de estos aerogeneradores es el más grande del mundo; se le conoce como Enercon E-126 y su rotor tiene un diámetro de 126 m. Esta sola turbina puede generar 7 MW de energía eléctrica.

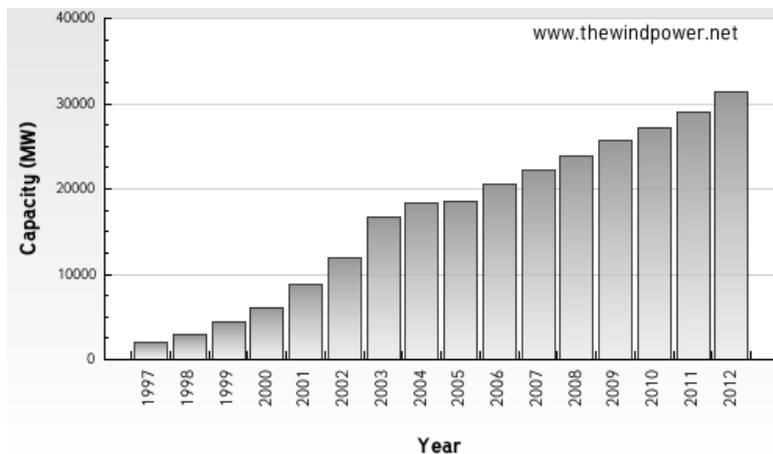


Figura 06: Crecimiento en la capacidad eólica instalada de Alemania entre 1997 y 2012.
The Wind Power Database, 2012



- End 1997: 2,081 MW
- End 1998: 2,875 MW (+38.2 %)
- End 1999: 4,443 MW (+54.6 %)
- End 2000: 6,095 MW (+37.2 %)
- End 2001: 8,754 MW (+43.7 %)
- End 2002: 12,001 MW (+37.1 %)
- End 2003: 16,629 MW (+38.6 %)
- End 2004: 18,428 MW (+10.9 %)
- End 2005: 18,500 MW (+0.4 %)
- End 2006: 20,622 MW (+11.5 %)
- End 2007: 22,247 MW (+7.9 %)
- End 2008: 23,903 MW (+7.5 %)
- End 2009: 25,777 MW (+7.9 %)
- End 2010: 27,191 MW (+5.5 %)
- End 2011: 29,075 MW (+7 %)
- End 2012: 31,332 MW (+7.8 %)

Tabla 07: Capacidad de producción eólica por año para Alemania entre 1997 y 2012.
The Wind Power Database, 2012

Indudablemente, los países líderes han apostado fuertemente por el uso y promoción de energías renovables. Es importante mencionar que no todo obedece a la preocupación por el medio ambiente. Es necesario tomar en cuenta que también hay otro tipo de razones, algunas de las cuales veremos un poco más abajo.

Para complementar la información anterior, vamos a describir un poco las acciones que han llevado a cabo los tres países punta para consolidarse en esas posiciones y cuáles pueden ser las razones de mayor peso para tomar la decisión por apostar por la energía eólica.

Acciones de consolidación de los países líderes

China

Como antecedente hemos de mencionar que, en los últimos años, China ha destinado una gran cantidad de dinero y recursos para promover la industria de la tecnología limpia en áreas bastante diversas tales como la energía eólica, la energía solar, las baterías y los automóviles eléctricos, etc. Todo ello como parte de una política más amplia de independencia energética y protección del medio ambiente (*Soler, 2010*). Las principales razones son: en primer lugar, porque China, necesita mejorar urgentemente su seguridad energética ya que hoy en día depende en gran medida de las importaciones de petróleo y gas. En segundo lugar, porque el gobierno chino es consciente de que hay que hacer algo que mitigue la contaminación del país pues 16 de las 20 ciudades con la peor calidad en el aire están en China. El país asiático es responsable del 18% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a nivel mundial (*Banco Mundial, 2010*). Por eso, no tomar cartas en el asunto supone un gran peligro para el actual y futuro desarrollo de la nación. Finalmente, China está interesada en acceder a nuevas tecnologías para sostener el rápido crecimiento de su industria de energía alternativa.

Con el fin de atacar estos tres problemas importantes, el “Comité Permanente del Congreso Nacional Popular” promulgó la Ley de Energías Renovables de la República Popular de China el 28 de febrero de 2005. En ella se estableció como objetivo diversificar el suministro de energía, salvaguardar la seguridad de la energía, proteger el medioambiente y alcanzar un desarrollo sostenible. La Ley de Energías Renovables, efectiva a partir del 1 de Enero de 2006, creó una



amplia definición de “energía renovable” y estableció además los requisitos que se imponen a los distribuidores ya sea para la compra o para la producción de energía renovable.

Con el fin de mejorar y aumentar los objetivos mencionados anteriormente, China modificó en fechas relativamente recientes la Ley de Energías Renovables y ha proporcionado incentivos fiscales y de inversión tanto a nivel nacional como local, para promover el sector de las energías renovables. El “Comité Permanente del Congreso Nacional Popular” adoptó la modificación a la Ley de Energías Renovables de la República Popular de China el 26 de diciembre de 2009, que entró en vigor el 1 de abril de 2010.

Además de lo anterior, nuevos incentivos fiscales y de inversión para el sector de las energías renovables se emitieron tanto a nivel nacional como local (*Soler, 2010*). Las actualizaciones en la legislación mencionada anteriormente no sólo van a impulsar el desarrollo de la industria de las energías renovables en China, sino que también proporcionarán oportunidades para los inversores extranjeros que tengan intención de invertir en el sector de las energías renovables en el país.

La ley modificada establece que el Consejo de Estado junto con la Comisión Reguladora de Electricidad Estatal y el departamento financiero del Consejo de Estado deberán determinar una proporción mínima de energía renovable dentro del total de energía generado (*renovable y no renovable*) y elaborar las medidas específicas de transmisión de energía a redes y compra de electricidad generada con energía renovable por los operadores de conexiones a la red, todo ello de acuerdo al plan nacional para el desarrollo y utilización de las energías renovables.

Adicionalmente, las reformas parecen tratar de equilibrar las obligaciones de los operadores de conexión a la red y a los operadores de energía renovable con el fin de incentivar el cumplimiento por parte de los primeros. Por un lado, las reformas requieren que los operadores de conexión a la red refuercen la construcción de las conexiones a la red, desarrollen y apliquen conexiones de red inteligentes y tecnologías de almacenamiento de energía, mejoren la operación y manejo de las redes de conexión y aumenten la capacidad de absorción de electricidad generada por el uso de recursos de energía renovable. Por otro lado, los operadores de energía renovable están obligados a cooperar con los operadores de conexión a la red para así asegurar la seguridad de las redes y establecer que todas las fuentes de energía renovable conectadas a las redes cumplan con los estándares técnicos establecidos.

Otro cambio importante está relacionado con la creación del fondo de energía renovable (*o la reforma del fondo existente*), para compensar mejor a los operadores de conexiones a la red. Tras las reformas, es claro que la fuente de los fondos de desarrollo de energía renovable provendrá de fondos nacionales y de recargos que paguen los usuarios. Estos fondos podrán ser utilizados, por un lado, para compensar a los operadores de la red la compra de la electricidad generada por el uso de recursos de energía renovable; por otra parte, los fondos pueden ser destinados para habilitar, diseñar y/o construir las instalaciones necesarias para conectar la red eléctrica con los operadores de energía renovable.



En Diciembre de 2009, el gobierno municipal de Shanghái emitió *Certain Provisions on Promoting the Development of New Energy Industry in Shanghái (Incentivos para Shanghái)*, destinadas a incrementar sus inversiones de proyectos de energía. Los incentivos para Shanghái serán aplicados a entidades registradas en Shanghái y que estén relacionadas con alguna de las siguientes áreas: investigación, desarrollo, producción e implementación de tecnologías enfocadas a energía nuclear, energía eólica, energía solar, ciclo combinado de gasificación integrada, centrales eléctricas y redes de energía inteligente. Los incentivos específicos contenidos en los Incentivos para Shanghái incluyen, entre otros:

- Establecimiento de fondos especiales para apoyar el desarrollo de altas y nuevas industrias tecnológicas, desarrollo de equipo técnico y proyectos de fabricación, proyectos de investigación y desarrollo de tecnología clave con carácter común y proyectos de plataformas de servicio público en el sector de las energías nuevas. Para el caso puntual de investigación y desarrollo, hay que asumir la realidad de que los emprendedores chinos son expertos en copiar la tecnología con rapidez, pero lo cierto es que la ingeniería inversa china en el sector eólico aún están lejos de lograr la eficiencia que tienen otras compañías extranjeras en lo que a fabricación de turbinas se refiere.
- Reafirmar los incentivos fiscales proporcionados por el Estado.
- Ayuda y facilidades para atraer a profesionales de alto nivel.
- Fomentar a compañías multinacionales en la industria de energías nuevas a establecer oficinas centrales en Shanghái, etc.

Beneficios para Inversores Extranjeros

Adicionalmente, China también ha promulgado otras regulaciones para atraer inversores extranjeros a la industria de energías renovables. Así por ejemplo, la versión 2007 del catálogo “Foreign Investment Guidance Catalogue” continúa proporcionando un sistema favorable para la inversión extranjera en muchos tipos de proyectos de energías renovables. Entre otros se incluyen la construcción y gestión de estaciones de energía utilizando energía solar, energía eólica, energía magnética, energía geotérmica, energía de las mareas, energía de las olas y energía de la biomasa. Todo este tipo de proyectos, al ser considerados preferenciales por las autoridades chinas, gozarán de un proceso de aprobación especial y más rápido y podrán beneficiarse de diversos incentivos adicionales. La modificación de la Ley de Energías Renovables y los nuevos incentivos fiscales demuestran la intención del Gobierno Chino de promover la industria de energías renovables mediante cooperación internacional.

Un caso que ilustra lo anterior, es el establecimiento en 2011 del Centro de Tecnología de energía eólica de SGS (*Wind Energy Technology Center; WETC*) en Tianjin, China. Dicho centro tecnológico está situado cerca del puerto de Tianjin, con acceso conveniente para toda la región



asiática. El WETC es un centro de pruebas innovadoras para palas de turbinas eólicas que ofrece la experiencia de ingenieros calificados de talla internacional (SGS, 2013).

El centro, que se especializará en hacer pruebas de las aspas de ventiladores y que pertenece a la empresa conformada entre el grupo suizo SGS y la estatal China Standard Technology Development Corporation (*sus siglas en inglés CSTC*), se localiza junto a otros 30 fabricantes de energía eólica del país y el extranjero.

El centro ofrece *-además de investigación, desarrollo, pruebas e inspección de palas para aerogeneradores-*, servicios de certificación para las empresas de fabricación de palas de aerogenerador con lo cual se busca una mejoría del nivel de desarrollo e investigación de todas las empresas de energía eólica de China.

Podemos destacar lo siguiente en cuanto al caso China:

- Tiene una gran urgencia por terminar con la dependencia energética ya que depende en gran medida de las importaciones de gas y petróleo.
- La contaminación del país pone en entredicho su desarrollo.
- El acceso a nuevas tecnologías impulsará el desarrollo y uso de energías alternativas.
- El método de “ingeniería inversa” les permitirá acceder a nuevos conocimientos sobre tecnología eólica aunque de forma limitada por el momento.
- La Ley ha sido modificada de tal forma que se busca una participación cada vez mayor de energías renovables desde la generación hasta el consumo.
- La creación de incentivos y programas específicos de energías renovables permite la participación activa de inversionistas nacionales y extranjeros a fin de establecer en el país toda la masa crítica necesaria para investigación y desarrollo de tecnologías enfocadas al uso, producción, manejo y almacenamiento de energías renovables. Se busca tener una base sólida y propia para realizar investigación y desarrollo en este tipo de tecnologías, pero siempre apoyados por profesionistas expertos en la materia.

Los anteriores son algunos puntos de suma importancia donde queda claro que la modificación de la ley, unido a otros planes y acciones perfectamente estructurados, han introducido varios cambios significativos en los requisitos existentes para el desarrollo de las energías renovables y sus planes de utilización, conexiones a la red y fondos para el desarrollo de las energías renovables.



Estos cambios, correspondientes al desarrollo de las energías renovables y a su plan de utilización pueden parecer de escasa importancia, pero podrán ejercer una influencia significativa sobre el sector de las energías renovables a nivel macroeconómico. Los cambios se han enfocado en incrementar y regular la planificación del gobierno, el cual, definitivamente, deberá de proveer todas las guías detalladas y dirigir las a todos los involucrados (*autoridades, empresas, centros de investigación, etc.*) para lograr que se implementen las políticas adecuadas sobre energías renovables.

Estados Unidos

El nacimiento a gran escala de la energía eólica, al igual que sucedió con otras tecnologías renovables, ocurre a partir de la crisis del petróleo de 1973. De finales de los 70 datan los primeros parques eólicos comerciales para generación eléctrica en EEUU (*aunque habían existido ciertos desarrollos puntuales mucho antes*), ubicados principalmente en el Estado de California. Sin embargo, con el descenso de los precios del petróleo, se abandonó el desarrollo eólico, aunque continuó la investigación de esta tecnología, tanto en EEUU como en Europa (*Gómez, 2012*).

A partir de mediados de los 90 vuelve a renacer la industria eólica en todo el mundo, impulsada por los diferentes gobiernos para reducir la dependencia energética en los combustibles fósiles y el impacto sobre el medio ambiente.

La mayor expansión del sector en Estados Unidos se ha producido durante los últimos cinco años, destacando especialmente el año 2009, cuando se instalaron alrededor de 10 GW de potencia eólica. Esa tendencia alcista se quebró en 2010 cuando se volvió a niveles de instalación de 2007, principalmente por la crisis financiera que dificultó la financiación de proyectos. Aunque esta crisis ocurrió antes de 2010, la inercia y el período de maduración de los proyectos hicieron que se viera reflejado dos años más tarde. El año 2011 ha sido mejor que el anterior con la instalación de más de 6 GW. A finales de ese año, Estados Unidos es el segundo país del mundo, después de China, en capacidad eólica instalada, con más de 45 GW.

En cuanto a la política de promoción de energías renovables de EEUU, que por precio de generación no son aún competitivas con las convencionales, es completamente distinta a la seguida tradicionalmente por los países europeos con las tarifas reguladas o *feed-in tariffs*. En EEUU no existe en general una tarifa garantizada a todos los generadores renovables. Pese a esto, sí se han marcado unos objetivos de desarrollo de estas tecnologías. En 37 de los 50 estados, se ha establecido un objetivo mínimo de consumo eléctrico de origen renovable, a través de los llamados *Renewable Portfolio Standards* o RPS (*Cartera de energía renovable; convenio por el cual se requiere que una empresa suministradora de energía eléctrica surta una cantidad absoluta de energía eléctrica con fuentes renovables, ya sea medida en porcentaje o como cantidad fija*), que aplican a algunas o a todas las empresas eléctricas que operan en los Estados.

En general, el convenio RPS aplica a las empresas generadoras privadas (*utilities*) o IOU (*Investor-owned utility; que son organizaciones empresariales que ofrecen un producto o servicio que se*



considera una utilidad o servicio público que ellas gestionan en lugar del Gobierno) y que representan la mayor parte de las ventas. Dichos RPS varían en función del tiempo y como ejemplos tenemos un 10% para 2015 en estados como Michigan o Wisconsin; 33% en California para 2020 y el 40% de Hawái para 2030 (*National Renewable Energy Laboratory, 2013*).

Aunque estos objetivos son obligatorios en la mayoría de los Estados, en muchos de ellos todavía no están definidas las penalizaciones en caso de incumplimiento debido a que no se desea que dicha obligación represente un aumento de tarifas al usuario final como consecuencia directa de un mayor costo de generación de energía eléctrica. No obstante, en algunos estados como New Jersey o Massachusetts, sí que se han definido penalizaciones llamadas Alternative Compliance Payments (ACP), que han originado un gran crecimiento en la generación de energía eléctrica a través de fuentes renovables.

De acuerdo a Gómez (2012), sin importar el Estado donde se haya implementado, todos los RPS tienen objetivos que deben ser justificados anualmente a las Comisiones Estatales de Empresas Generadoras Privadas (*Public Utilities Commission; PUC*) a través de los llamados Certificados de Energía Renovable (*Renewable Energy Certificates; REC*). Dichos Certificados de Energía Renovable son documentos ambientales negociables que sirven para demostrar que 1 megavatio-hora (MWh) de electricidad ha sido generado a partir de un recurso energético renovable.

Para obtener estos certificados, las empresas “utility” pueden construir sus propias instalaciones de generación renovable, comprar la energía a generadores renovables independientes (IPP) o comprarlos en mercados organizados en aquellos Estados donde se permite su comercio. En el primer caso, la utility es el promotor (*utility-owned*) que desarrolla el proyecto, usualmente mediante la fórmula del “llave en mano”. En la segunda modalidad, los IPP actúan como promotores o generadores y la utility compra su producción a través de compromisos de compra a largo plazo o acuerdos de compra de energía (*Power Purchasement Agreements; PPA*).

A través de un acuerdo de compra de energía, la empresa “utility” se compromete a comprar al productor de energía una determinada cantidad de energía en kWh a un precio fijo durante un período que suele ser de 20 años. Una forma típica de cerrar estos acuerdos es a través de petición de ofertas por parte de las utilities, procesos llamados Solicitudes de propuesta (*Request for Proposal/Offers; RFP/RFO*), que pueden resolverse bien por acuerdos bilaterales o por procesos de subasta, dependiendo de la tecnología y la política de cada empresa “utility”.

Además de los RPS, algunos Estados americanos cuentan con otros medios de promoción de tecnologías renovables. Tal es el caso de los instrumentos para ahorro de impuestos. Hay varios programas con requisitos y funcionamientos diferentes; los más importantes de tipo Federal son el Investment Tax Credit (ITC) y el Production Tax Credit (PTC). Cabe aclarar que estos créditos no pueden ser solicitados conjuntamente, sino que hay que optar por uno o por otro.

El primer programa federal (ITC), supone una reducción de la base imponible del Impuesto de Sociedades del 30% de la inversión realizada en un proyecto renovable. El segundo programa federal (PTC), ofrece una reducción de 2.2 centavos de dólar por kWh producido durante 10 años.



Conocer estos mecanismos fiscales es clave ya que suponen reducciones importantes en el coste de generación. Por ello aparecen complicadas estructuras de propiedad para aprovechar al máximo estos incentivos. En el sector eólico, el PTC es la opción más empleada, ya que al ser una tecnología madura con factores de capacidad altos, suele ser la más ventajosa.

El año 2012 fue crucial para el mercado eólico en EEUU. La extensión del Production Tax Credit (*PTC*) era clave para la evolución del sector. Hoy sabemos que Estados Unidos extiende un año más el crédito fiscal al sector eólico tras un largo debate.

Sin embargo para 2013 se prevé un desarrollo muy escaso (*no superior a 1 GW*) puesto que la incertidumbre regulatoria que se ha creado a raíz de la extensión del PTC está produciendo que no se cierren prácticamente contratos este año. Las empresas promotoras en muchos casos prefirieron esperar a su renovación y de esa forma conseguir la subvención (aunque probablemente muchos proyectos podrían ser rentables sin ella).

El Estado con mayor capacidad eólica instalada es Texas (*11 GW*), seguido de lejos por Iowa (*4.5 GW*), California (*4.2 GW*) e Illinois (*2.8 GW*). La presencia de empresas extranjeras en el mercado es notable, destacando entre los fabricantes, los españoles (*Gamesa, Acciona*), daneses (*Vestas*), alemanes (*Siemens*) y empezando con fuerza los chinos. Con todo, el principal fabricante es el americano General Electric, que supone alrededor de la mitad de las ventas de aerogeneradores.

A pesar de los descensos de 2010, muchos fabricantes y empresas de componentes siguen abriendo plantas productivas y centros de investigación en el país. A finales de 2011, nueve de los once mayores fabricantes (*Acciona, Clipper, DeWind, Gamesa, GE, Nordex, Siemens, Suzlon y Vestas*) tenían, al menos, un centro productivo en los Estados Unidos (*US Department of Energy, 2012*).

En 2011, continúa el dominio de los Independent Power Producers (*IPP*) como propietarios de las instalaciones eólicas, con 5,120 MW instalados (*75% del total*). No obstante, se ha visto un incremento de las instalaciones donde la propiedad es de las utilities, con un 25% del total, mientras que otros años se encontraba en torno al 15%. El mayor propietario de instalaciones eólicas en EEUU es NextEra Energy Resources, empresa del holding de la utility Florida Power and Light, seguido por la española Iberdrola Renewables, EDP Renewables North America LLC (*Texas, Estados Unidos*), y MidAmerican & PacifiCorp (*Estados Unidos*).

En cuanto a la presencia española en el sector eólico, tenemos que a finales del 2011 había más de 40 empresas de la nación española (*y más de 90 empresas en todo el sector renovable*). Muchas de esas empresas han venido siguiendo a las tres grandes de España (*Gamesa, Acciona e Iberdrola*) con las que ya habían trabajado dentro del mercado español. Su evolución ha ido ligada a los resultados y operaciones de éstas, aunque poco a poco van suministrando equipos y servicios a otras empresas del país. No obstante, no es sencillo entrar en el mercado estadounidense, puesto que existen ciertas barreras que requieren tiempo y esfuerzo superar, como son las certificaciones (*en especial la UL*), las diferencias técnicas como la frecuencia y los



voltajes, la preferencia del mercado por el equipo estadounidense, las cláusulas proteccionistas como el Buy American, o los altos costes laborales y de servicios profesionales.

En cuanto a la eólica offshore, hasta la fecha, ningún proyecto se ha instalado en los Estados Unidos, cuyo desarrollo se enfrenta a importantes retos. El más importante quizás sea que los precios de generación de la eólica offshore continúan altos. Además, la ausencia de un fuerte apoyo gubernamental a este tipo de proyectos ha supuesto importantes dificultades y atrasos tal y como lo demuestra el caso del parque eólico Cape Wind: proyecto offshore que tiene casi 10 años sin poder ejecutarse y que está planeado para establecerse en las costas de Massachusetts. Pese a lo anterior, sigue existiendo cierto interés por el desarrollo offshore especialmente en la costa del Atlántico medio y norte debido a que se cuenta con un buen recurso eólico además de grandes centros de consumo en la costa (*U.S. Department of Energy, 2012*).

Para resumir, el sector eólico en EEUU no ha alcanzado todavía las cotas de expansión de otros países, especialmente los europeos como España o Alemania. La electricidad generada apenas alcanza un 3% de todo el mix de generación. No obstante, los ritmos de expansión en los últimos años han sido grandes, siendo 2009 el año récord.

Sin embargo, el futuro a corto y medio plazo se prevé complicado puesto que el sector eléctrico y eólico se enfrenta a una serie de retos que tienen que ser afrontados con una gran voluntad política y el acuerdo de muchos interlocutores. Entre otros problemas destacan: la ordenación actual del mercado, una red de transmisión insuficiente, revisión de los objetivos RPS, crecimiento escaso de la demanda y extensión de los incentivos fiscales y otros mecanismos de apoyo.

En la revisión de los objetivos RPS y en la estrategia de utilities y reguladores, tendrá un importante influencia el actual precio del gas natural, que es entre tres y cinco veces menor en EEUU que en el resto del mundo. Se debe a la gran producción de shale gas, o gas no convencional, extraído con las nuevas técnicas de fracking; que está desplazando las futuras inversiones en generación hacia ciclos combinados de gas natural.

Podemos destacar lo siguiente en cuanto al caso Estados Unidos:

- No tiene una gran dependencia energética del exterior. Como consecuencia de esto, el mix energético del país americano apuesta fuertemente por el uso de combustibles fósiles por varios años más.
- Aparentemente la cuestión ambiental no es prioridad para Estados Unidos. Si a lo anterior le agregamos que es una nación que no ha ratificado el Protocolo de Kioto, todo indicaría que a Estados Unidos no le interesa revertir la situación que se vive en relación al cambio climático.
- En EEUU no existe en general una tarifa garantizada a todos los generadores renovables aunque sí se han marcado unos objetivos de desarrollo en estas tecnologías mediante los



llamados RPS con los cuales se ha establecido un objetivo mínimo de consumo eléctrico de origen renovable.

- A través de varios mecanismos fiscales otorgados a empresas “utility”, se tienen importantes reducciones en el coste de generación de energía a través de recursos renovables. En el sector eólico, el PTC es la opción más empleada. Ya sea que la empresa “utility” compre energía a los independientes o bien, desarrolle sus propios proyectos, hay beneficios porque se buscará generar la mayor cantidad de energía con el costo más bajo posible.
- Aunque es evidente la ausencia de un fuerte apoyo gubernamental, se permite que empresas extranjeras establezcan en el país centros de investigación y desarrollo de tecnologías renovables a fin de seguir encontrando soluciones atractivas a la creciente y constante demanda de energía. La unión de estas empresas con las “utility” representan la carta fuerte del desarrollo de tecnología eólica en Estados Unidos.

Estados Unidos hace las cosas a su modo: no tiene una participación gubernamental muy fuerte aunque ha logrado crear varios mecanismos con los cuales la tecnología eólica ha despuntado de manera peculiar a través de la sinergia utilities-empresas privadas.

Alemania

El progresivo aumento del calentamiento global, así como el elevado precio y sucesivo agotamiento de los combustibles fósiles, ha precipitado el interés del mundo, especialmente de las potencias, por trazar metas claras en aras de reducir las emisiones de gases contaminantes a través de la implementación de energías renovables; basta mencionar que hoy en día más de 66 países tienen objetivos ambientales definidos, entre ellos 27 de la Unión Europea, 37 estados de USA y 9 provincias canadienses, entre otros (*Worldwatch-Institute, 2010*).

El caso Alemán se constituye en un referente mundial obligado en el desarrollo de energías alternativas. Tanto así que a finales de 2006 era el primer país en capacidad instalada de energía eólica y solar fotovoltaica (*EWEA, 2008*), tercero en solar térmica y cuarto en biomasa; consecuencia de lo anterior, las emisiones de CO₂ han ido decreciendo conforme aumenta la penetración de recursos limpios.

Alemania cuenta con políticas de energía limpia pioneras, como la Ley de Energías Renovables y la Ley de Energías Renovables Térmicas. El programa integrado del gobierno de energía y clima también promueve Alemania como lugar de inversión industrial.

Las compañías extranjeras interesadas en el mercado alemán, no suelen encontrar grandes barreras, *(con tan sólo algunas pequeñas excepciones en los sistemas de certificación, como por ejemplo el hecho de que actualmente no existen estándares de certificación para los sistemas*



solares de calentamiento de aire). En cualquier caso, siendo un mercado tan altamente competitivo y desarrollado, las nuevas compañías deben, en muchos casos, identificar un nicho de mercado. Las pequeñas y medianas empresas suelen encontrar útil el acercarse al mercado alemán asociadas con una compañía local que le pueda aportar experiencia en la cultura de negocios y el lenguaje local.

Políticas gubernamentales y regulatorias del sector eólico en Alemania

La energía eólica en Alemania es controlada directamente por el Ministerio Federal del Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (*Biechl, 2008*). Este organismo, junto con el Parlamento, los operadores de las redes de transmisión (*TSO*) y otros agentes del sector, han definido las reglas del juego que garantizan la implantación actual y futura no sólo de parques eólicos, sino también de una amplia gama de energías renovables.

Haciendo un poco de historia, la reestructuración del sector energético Alemán tuvo inicio con la promulgación de la ley de alimentación de electricidad (*StrEG*) que se remonta a enero de 1991. Dicha ley, debido a su limitado campo de acción en materia de energías renovables, fue sustituida en abril de 2000 por la Ley de Energías Renovables (*LER*). A partir de su instauración, dicha Ley fue modificada en los años 2004 y 2008. Uno de los objetivos de la última modificación realizada a la LER fue garantizar la total consonancia de la política energética alemana con los objetivos vinculantes que fueron firmados por la Unión Europea en la declaración del 9 de marzo de 2007, donde se elevaban las metas de penetración de energías renovables hasta un 20% para el año 2020.

Tal fue el impulso que la legislación brindó al sector de energías renovables de Alemania, que se alcanzaron las metas trazadas fácilmente, siendo necesario redefinirlas: para el 2010 se esperaba tener un 12.5% del consumo total satisfecho a través de estos recursos y se incrementó al 15%. De manera escalonada, se han fijado metas puntuales para los años de 2020 donde se espera un 27% mientras que para 2030 se espera una participación de energías producidas de fuentes renovables del orden del 45%.

El efecto de la LER en el sector de la energía eólica ha abarcado múltiples aspectos de gran significancia, tales como generación de empleo, impulso al desarrollo tecnológico e impacto al usuario final. Para 2006 se tienen datos de que 214,000 empleos directos e indirectos han sido inyectados al sector productivo alemán por la industria eólica. 124,000 de ellos fueron creados en virtud de la LER.

Por su parte, el usuario final ha experimentado un efecto costo-beneficio positivo, dado que con la institución de la generación de energía a partir del recurso eólico ha introducido ahorros del orden de 5,000 millones de Euros, reduciendo entre otros la importación de carburantes en cerca de 900 millones de Euros.



La tecnología y los fabricantes de equipos asociados con la generación eólica también han experimentado cambios positivos a partir de la LER. Por ejemplo, muchos operadores de red han entrado en la revolución de las centrales virtuales (*vía Internet*), han mejorado sus esquemas de gestión de carga y las estrategias de almacenamiento de energía. Además de lo anterior, la LER plantea grandes retos para el sector tecnológico, promoviendo a través de mejores incentivos y retribuciones la re potenciación de los parques eólicos existentes y la implantación de instalaciones off-shore (*Biechl, 2008*).

Finalmente, podría concluirse que el hecho de que a partir de 1991 los costos de producción de la energía eólica hayan bajado más de un 60%, hasta llegar hoy en día a valores entre 5-8 centavos de dólar por kWh (*Worldwatch-Institute, 2010*), guarda estrecha relación con la institución de un marco regulatorio sólido y bien estructurado.

Recurso eólico alemán

Alemania cuenta con un potencial eólico bastante alto, distribuido a lo largo de su territorio continental (*on-shore*) y en los mares del Norte y Báltico (*off-shore*). Las mejores condiciones de viento se presentan al norte, con velocidades que incluso alcanzan los 8 m/s a 80 m de altura.

Sin lugar a dudas, toda esta riqueza en el recurso eólico, aunada con los fuertes capitales invertidos en desarrollo tecnológico e investigación, han posicionado a Alemania hoy en día en el tercer puesto mundial (*31,332 MW*), sólo detrás de China y Estados Unidos.

Los escenarios proyectados son muy ambiciosos; asumiendo como estrategias el desarrollo las instalaciones off-shore y la re potenciación, Alemania apuesta a los 48,000 MW de capacidad instalada al llegar el 2020, lo cual supone incrementar en poco más de un 50% la potencia actual en tan solo 8 años.

Las medidas estatales de investigación, desarrollo y fomento, así como las posibilidades de financiación, aceleraron en los años 90 los avances en el desarrollo de la tecnología eólica alemana. Desde abril de 2000, las retribuciones de alimentación garantizadas legalmente en la Ley de energías renovables (*EEG*) apoyan la seguridad de planificación para el sector eólico. Los generadores de electricidad de la energía eólica obtienen una remuneración garantizada por kWh, que dependerá del emplazamiento de la instalación. En la ley complementaria actual de la EEG se introdujo, entre otros, la llamada “bonificación de potencia de servicio”, que no es otra cosa que buscar la integración y mejoría de la red de instalaciones de energía eólica.

La base del éxito de la industria eólica alemana reside en la modificación de la Ley de Energías Renovables (*EEG*), con la cual se logró un aumento en las primas en las tarifas (*tarifas feed-in*). Estas tarifas representan un pago compensatorio a los propietarios de los sistemas de energías renovables cuando la energía de sus sistemas se vende a la red pública. Las tarifas se fijan a 20 años y pueden reducirse a razón de 2% anual si el propietario de las turbinas introduce gradualmente turbinas nuevas (*AI - Invest, 2011*).



Además de lo anterior, cabe destacar que el gobierno alemán busca que los riesgos de la energía atómica sean cada vez menores a raíz de los sucesos ocurridos en Japón en 2011 (*accidente de la planta Fukushima Daiichi*), a la vez que cumple con el compromiso de Kioto y con las directrices de la UE. Parte de este objetivo es la independencia de las fuentes agotables y el rechazo a la energía atómica.

Ley de Energías Renovables (EEG).

No hay duda de que la EEG ha supuesto un gran aliciente para la industria de las renovables en Alemania. Esta Ley garantiza unas tarifas de incentivos fijas y de 20 años de duración, lo que permite realizar una eficiente planificación de base, que supone el principal motor del mercado en Alemania.

Otro asunto importante es la re-potenciación. Ésta ofrece importantes oportunidades dentro del mercado de las energías renovables. Desde que se están construyendo nuevos parques eólicos, la opinión pública está empezando a mostrarse descontenta por el impacto que producen en el paisaje. En este sentido, la reutilización y la re-potenciación de turbinas (*en su mayoría por la reducción del número de torres, al tiempo que se aumenta la capacidad de la turbina*) representa una forma económica de incrementar el rendimiento de un parque eólico. Hasta ahora, en Alemania, 239 parques eólicos han sido readaptados, añadiendo un total de 458 MW más de capacidad a la red.

Podemos destacar lo siguiente en cuanto al caso Alemania:

- Aunque no tiene una gran dependencia energética del exterior, tiene claro que los combustibles fósiles dejarán de ser una opción en años venideros. Punto y aparte es el hecho de que busca sustituir las fuentes de energía nuclear debido a los accidentes recientes en Fukushima, Japón.
- El calentamiento global es parte de la agenda pendiente de muchos países europeos, incluyendo a Alemania.
- La promoción y desarrollo de nuevas tecnologías encaminadas a la energía renovable impulsa el desarrollo y genera empleos.
- Para la Ley de Energías Renovables, es una prioridad que las energías renovables vayan ganando mayor terreno dentro del esquema energético alemán.
- Los beneficios que tienen los productores de energía eólica que vendan energía de fuentes renovables a la red pública hace atractiva la inversión en ese sentido.
- Alemania busca una variedad de generación de energía mediante el uso de generadores off-shore.



- Importante es el hecho de que trabaja arduamente en la re potenciación de parques eólicos existentes.

Resulta interesante que, en el caso de Alemania, destaca la prioridad por buscar nuevas formas de energía que, además de contribuir al mejoramiento del medio ambiente, tenga beneficios para la población en general, así como para los productores e inversionistas. Las ganancias palpables se pueden ver tan sólo en la generación de nuevas fuentes de empleo.

Alemania tiene claro que, además de incrementar su potencial de generación mediante nuevos parques offshore y onshore, hay que buscar la actualización de los parques existentes mediante re potenciación de las turbinas eólicas. De esta forma se puede reducir el número de generadores antiguos por otros nuevos que tengan mejores rendimientos sin ocupar extensiones de terreno tan grandes.

Energía eólica marina en el mundo

La energía eólica offshore (*eólica marina*) se refiere a la construcción, operación y mantenimiento de parques eólicos en el mar para generar electricidad con la fuerza del viento. Generar electricidad aprovechando la fuerza del viento en el mar es posible gracias a la instalación de grandes aerogeneradores, soportados por estructuras ancladas al fondo marino y que se conectan a la red terrestre mediante cables submarinos (EWEA, 2011).

Los principios de funcionamiento de la energía eólica marina son similares a la terrestre, con la ventaja de que el recurso eólico suele ser más elevado y constante en el mar. El viento no se ve afectado por la orografía local (*montañas, vegetación, etc.*) y sopla de forma más predecible y menos turbulenta que en tierra. Además, en el mar suele haber menos limitaciones de ocupación de espacio lo, que favorece su implantación.

Los aerogeneradores offshore utilizan la misma tecnología que los terrestres. Sin embargo, las condiciones de instalación y operación que requiere el entorno marino exigen la realización de diseños específicos más fiables. La facilidad de transportar por mar elementos de grandes dimensiones permite además la utilización de turbinas de mayor tamaño y que contribuyen a mejorar la eficiencia. Figura 08.

Actualmente, todos los parques eólicos marinos comerciales se construyen mediante cimentaciones directamente fijadas al fondo que, por motivos de costo, sólo pueden utilizarse en profundidades bajas y medias (*hasta unos 60 m*). Por tanto el desarrollo de parques marinos está asociado a zonas en las que se reúnan esas condiciones de profundidad además de otras como la existencia de recurso eólico, la proximidad a puntos de consumo, la compatibilidad ambiental o con otros usos del mar (*pesca, tráfico marítimo, etc.*). Esto explica el gran desarrollo que esta tecnología está experimentando en áreas como el Mar del Norte, Mar de Irlanda o Mar Báltico y su limitada viabilidad en otras como las costas españolas.



De acuerdo a Martínez (2012), la construcción y operación de parques marinos requiere la utilización de medios marítimos muy especializados como barcos de instalación auto-elevables (*jack-up*), grandes grúas flotantes (*de varios miles de toneladas*), hoteles flotantes, barcos de suministro, cableros, barcos de transporte rápido, etc. En las primeras fases del desarrollo de la tecnología eólica marina, la industria ha utilizado medios provenientes de otros sectores (*petróleo y obras costeras fundamentalmente*). Sin embargo, la gran demanda de este tipo de medios y la mayor eficiencia requerida está llevando en los últimos años al desarrollo de una industria de equipos especializada en eólica offshore.

Aunque la construcción y operación de parques eólicos offshore es más compleja que en tierra, el coste adicional se compensa en parte por el mayor recurso eólico en el mar, la mayor eficiencia unitaria de las turbinas utilizadas y por el factor escala de las instalaciones. Con todo ello, la industria offshore está realizando un gran esfuerzo en reducir los costes de generación, lo que es un requisito fundamental de cualquier tecnología para convertirse en una forma de generar electricidad a gran escala.

La eólica offshore es un mercado en crecimiento, con considerables perspectivas de desarrollo. Si bien los primeros parques marinos experimentales se instalaron a principios de los 90, el despegue comercial del sector se produce a principios de los años 2000. En la actualidad el desarrollo de parques eólicos marinos es una realidad en el Norte de Europa. Con más de 4,000 MW en operación en 2012 y otros 3,000 MW en construcción, los parques eólicos marinos se perfilan como una de las tecnologías renovables con más potencial de crecimiento en Europa en los próximos años.

Algunas empresas, sobre todo españolas (*algo que puede sonar fuera de toda lógica pues España no es un país donde pueda explotarse de lleno el recurso eólico offshore*), han apostado por la promoción de la energía eólica marina como una de las bases de su crecimiento futuro y persiguen liderar el desarrollo de esta tecnología de manera similar a como se hizo con la energía eólica terrestre.

Para lograr este objetivo, dichas empresas (*como es el caso concreto de Iberdrola*), cuentan con una división específica de tecnología offshore que impulsa la paulatina puesta en marcha de las instalaciones eólicas marinas de su cartera de proyectos. Dichos proyectos se ubican especialmente en los mares del norte de Europa y tienen a Reino Unido, Francia y Alemania como países más destacados. Se trata de uno de los retos más ambiciosos realizado por esas empresas en el ámbito de las energías renovables.

También se está haciendo un importante esfuerzo de I+D (*investigación y desarrollo*) en tecnología eólica offshore. Los proyectos de las empresas se centran, en el corto plazo, en reducir los costes de generación de esta tecnología y, en el largo plazo, en diseñar soluciones capaces de aprovechar emplazamientos más profundos mediante plataformas flotantes. Esto permitiría poder desarrollar en un futuro proyectos offshore en países en los que la gran profundidad de sus aguas hace difícil la viabilidad de este tipo de parques, como ocurre en España y otros países del sur de Europa.



Lo cierto es que las enormes posibilidades de esta forma de generación de energía han impulsado a los principales países y empresas energéticas del mundo hacia una carrera cuyo objetivo es desarrollar tecnologías con los mejores costos a fin de producir energía suficiente a partir de los vientos marinos.

Características de las instalaciones eólicas offshore

De acuerdo a la información proporcionada por la European Wind Energy Association (*EWEA*), en el documento “The European offshore Wind Industry key trends and statistics First Half 2011” (2011), la energía eólica offshore tiene las siguientes ventajas:

- Los vientos en alta mar pueden ser hasta un 40% más frecuentes y regulares que en tierra. A igual capacidad instalada, los parques eólicos marinos serán más productivos que los terrestres. En el mar la rugosidad superficial es muy baja en comparación con el medio terrestre y no existen obstáculos que puedan reducir la velocidad del viento. Esto favorece la circulación del viento a mayores velocidades y hace innecesario el tener que subir la altura de la torre más de lo que obligue la suma del semidiámetro del rotor y la altura máxima de la ola prevista. Por lo general, los vientos van ganando en velocidad al separarnos de la costa. El recurso eólico es mayor y menos turbulento que en localizaciones próximas en línea de costa sin accidentes geográficos. La existencia de menor turbulencia ambiental en el mar disminuye la fatiga a la cual se encuentra sometido un aerogenerador aislado, y aumenta su vida útil.
- Su ubicación lejos de lugares habitados permite suavizar las restricciones impuestas por las autoridades ambientales en relación con la emisión y propagación de ruido.
- Al no tener restricciones severas por la emisión y propagación de ruido, se puede incrementar la velocidad de punta de pala, con la correspondiente disminución de su peso y de las estructuras que las soportan, consiguiendo una reducción significativa del coste de fabricación del aerogenerador en su conjunto.
- El transporte de grandes componentes de aerogeneradores es mucho más fácil en barco, ya que es un medio que puede manejar grandes cargas con más facilidad que los camiones o trenes.
- Los aerogeneradores pueden ser más grandes, cosa que redundará en la rentabilidad de las instalaciones.

Las desventajas del uso de generadores eólicos offshore son las siguientes (*EWEA, 2011*):

- La principal desventaja son los altos costes de construcción. El coste de un aerogenerador offshore puede multiplicar por dos el de un aerogenerador terrestre de la misma capacidad.



- La tecnología eólica offshore no puede considerarse totalmente madura y los nuevos avances tecnológicos harán que los futuros proyectos sean mucho más viables comercialmente que los actualmente en desarrollo o servicio.

No podemos dejar de señalar que, si bien es cierto que no todos los países tienen las condiciones óptimas para apostar por este tipo de tecnologías, se perfila como una opción muy atractiva e interesante por sus ventajas. Además de lo anterior, no se puede dejar de señalar que la instalación, puesta en marcha, operación y mantenimiento de este tipo de generadores es todo un reto en cuanto a investigación y desarrollo se refiere.

Europa: continente líder en generación de energía eólica offshore

Con más de 3,000 MW instalados en 55 parques eólicos y un total de 1,237 aerogeneradores, Europa ocupa el liderazgo en energía eólica marina y cuenta con un potencial de desarrollo espectacular de cara a la próxima década, que llegará a generar unos 450 empleos nuevos cada semana (EWEA, 2011). Figura 08.

La creciente preocupación por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero está generando el desarrollo a gran velocidad de las energías renovables. Una de las más conocidas es la eólica terrestre (*onshore*) -con gran desarrollo en varios países-, pero la eólica marina (*offshore*) cada vez va ganando más terreno y se prevé que, de cara al futuro, sea una de las energías renovables más importantes.

Actualmente, el Reino Unido y Dinamarca aglutinan el 74% del sector de eólica offshore dentro del continente europeo, que es hoy por hoy el líder mundial en la producción de esta energía limpia. Un total de 3,294 MW instalados en 55 parques, que totalizan 1,237 aerogeneradores, sitúan a Europa en el número 1 a nivel mundial.

De cara al futuro, la expansión de esta energía renovable en Europa será espectacular. La Asociación Europea de Energía Eólica (EWEA) prevé que en 2030 Europa alcance los 400,000 MW eólicos instalados, que podrían cubrir el 30% del consumo eléctrico de toda la Unión Europea, siendo la mitad de esta energía producida en parques de eólica offshore. En la actualidad ya hay 3,500 MW en construcción y 16,000 MW autorizados.

Más a corto plazo, la EWEA estima que este año la eólica marina crecerá un 13%, con 10,000 MW de nueva potencia eólica instalada, lo que supondría igualar la cifra récord de 2009, situada en 10,163 MW. La nueva potencia elevará la cifra acumulada a casi 85,000 MW. El Reino Unido y Alemania seguirán siendo los mercados eólicos de mayor crecimiento y la EWEA estima que Francia e Italia vuelvan a instalar aproximadamente 1,000 MW de turbinas eólicas cada uno.



	Reino Unido	Dinamarca	Países Bajos	Bélgica	Suecia	Alemania	Irlanda	Finlandia	Noruega	TOTAL
Parques	20	12	4	2	5	7	1	2	2	55
Aeros	504	400	128	61	75	51	7	9	2	1.237
MW	1.586,0	853,7	246,8	195,0	163,7	195,3	25,2	26,3	2,3	3.294,3

**Figura 08: Capacidad instalada Offshore en Europa
EWEA, 2011**

Podemos concluir, en relación a la energía eólica marina, que es un sector muy joven y que está iniciando una etapa de fuerte crecimiento. Ofrece una interesante oportunidad de aprovechar un gran potencial de recurso para generar energía sin emisiones contaminantes de ningún tipo.

De acuerdo a información de organismos como EWEA, se prevé un importante desarrollo en las próximas décadas. Para el crecimiento de la industria eólica offshore se abre un amplio espectro de oportunidades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) y de negocio en todo el ciclo de vida de los parques y en toda la cadena de valor. Los mayores retos se encuentran en el desarrollo de la eólica offshore a grandes profundidades, el diseño de parques con una mayor fiabilidad y eficiencia y la reducción de costos.

Como conclusión general al capítulo, podemos señalar que es claro que las políticas de independencia energética y de protección al medio ambiente son los medios más utilizados para lograr objetivos trazados a corto, medio y largo plazo en materia de implementación, investigación y desarrollo de tecnologías que utilicen energías renovables. Ya vimos que los tres países líderes tienen mecanismos diferentes, pero la meta es la misma: lograr que las tecnologías renovables, destacando la energía eólica, puedan tener una participación más activa e importante dentro de todo el mix energético.

Las empresas *-ya sean nacionales o extranjeras-*, siguen y seguirán siendo un componente importante del motor de desarrollo de los países mediante investigación y desarrollo de productos y/o servicios relacionados, en este caso, con energías limpias. Todo país que logra establecer uniones fuertes y perfectamente reguladas entre Empresas y Estado, puede experimentar un crecimiento exitoso y considerable que se traduce en desarrollo sostenido en todo ámbito.

La excepción no puede ser el campo de la energía eólica. El conjunto de planes regulatorios e incentivos, además de las leyes enfocadas a la promoción, uso y desarrollo de energía eólica *-ya sea del tipo terrestre o marino-*, no tiene otro objetivo que el de hacer más grande y eficiente el campo de aplicación de los aerogeneradores. El compromiso que se genere por parte del Estado para crear y aplicar leyes enfocadas a una introducción obligatoria, gradual y sostenida de tecnología eólica es igual de importante que el compromiso que tengan las empresas para



investigar y desarrollar mejores tecnologías encaminadas a ofrecer soluciones integrales a problemas específicos. La energía eólica, pese a que aún no aporta una cantidad significativa de energía al mix mundial, va en el camino adecuado para que, de la mano con otras fuentes de energías verdes y dentro de algunos años o décadas, se consolide como una solución sólida a la actual preocupación por la creciente demanda de energía a nivel mundial.

En el capítulo siguiente, vamos a hacer un análisis del estado actual del uso, promoción y desarrollo de la tecnología eólica en México.



CAPÍTULO V

Análisis del sector energético mexicano y del uso de tecnología eólica para la producción de energía en el país

Sector energético mexicano

México cuenta con una gran variedad de recursos naturales que favorecen el desarrollo de un alto número de actividades productivas, incluyendo aquellas relacionadas con la generación de energía a partir de dichos recursos. Dentro de las actividades productivas enfocadas a la producción de energía, hemos de señalar de manera particular a aquellas que tienen que ver con la explotación de los hidrocarburos y la generación de energía eléctrica debido a que son los componentes más importantes del sector energético mexicano desde la década de los treinta. Desde entonces, ambos rubros han tenido un papel determinante en el desarrollo del país.

Las actividades del sector energético mexicano se consideran demasiado importantes ya que continúan siendo al día de hoy la fuente principal de los ingresos públicos federales. El sector energético representa 8% del PIB nacional (SENER, 2012).

El sector energético mexicano está estructurado como se observa en la figura 01.

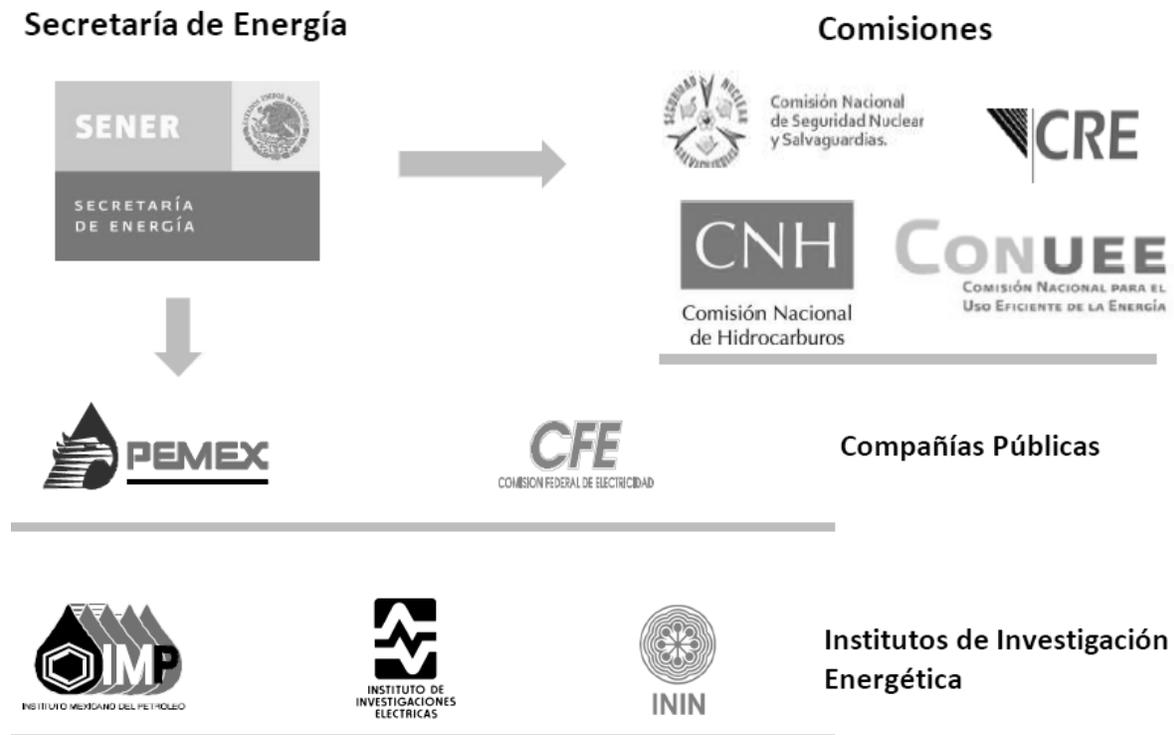


Figura 01: Estructura general del sector energía México
SENER- CFE, 2012



Está dividido en tres grandes áreas teniendo a la Secretaría de Energía como cabeza de dicho sector:

- **Subsector de hidrocarburos.** Tiene como principal entidad a Petróleos Mexicanos (*PEMEX*), conformada por cinco subsidiarias: Pemex Exploración y Producción (*PEP*), Pemex Refinación (*PR*), Pemex Gas y Petroquímica Básica (*PGPB*), Pemex Petroquímica (*PPQ*) y Pemex Internacional (*PMI*). El Instituto Mexicano del Petróleo, como instituto de investigación energética, da apoyo tecnológico a Pemex y labora muy cerca de éste.
- **Subsector electricidad.** Tiene como principal entidad a la Comisión Federal de Electricidad (*CFE*) que es el principal generador de la energía eléctrica del país además de ser el responsable del transporte y distribución de la energía eléctrica a través de la red eléctrica nacional.

El Instituto de Investigaciones Eléctricas da apoyo tecnológico en materia de electricidad a la entidad antes mencionada así como a Pemex y otras entidades públicas y privadas.

Otro instituto de investigación energética que apoya a los dos subsectores anteriores es el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (*ININ*) que realiza investigaciones y desarrollos científicos y tecnológicos en el área de las aplicaciones de la energía nuclear.

- **Subsector central o de gobierno.** Existen adicionalmente en el gobierno central, cuatro entidades que norman y/o promueven diferentes aspectos del sector energía. La Comisión Reguladora de Energía (*CRE*), la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (*CNSNS*), la Comisión Nacional de Hidrocarburos y la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (*CONUEE*).

Pese a que por mucho tiempo las actividades del sector energético mexicano fueron realizadas en su totalidad por el estado mexicano, actualmente existen actividades permitidas a la inversión privada en el ámbito de los hidrocarburos y electricidad gracias a una serie de modificaciones realizadas a algunos reglamentos. En el caso de hidrocarburos, tenemos como ejemplo el área de gas natural donde actividades como: transporte, almacenamiento, distribución y mantenimiento de instalaciones; son realizadas por empresas privadas (*Reglamento de gas natural; texto vigente DOF 11-05-1995*).

En el caso del eléctrico, es en 1992 cuando se reforma la Ley del servicio público de energía eléctrica con el objetivo de ampliar y definir la participación de los particulares en actividades de generación, exportación e importación de energía eléctrica. La Ley, en su artículo 3º, define cinco actividades que no se consideran servicio público: 1) la generación de energía eléctrica para autoabastecimiento, cogeneración o pequeña producción; 2) la generación de energía eléctrica que realicen los productores independientes para su venta a la Comisión Federal de Electricidad; 3) la



generación de energía eléctrica para su exportación, derivada de cogeneración, producción independiente y pequeña producción; 4) la importación de energía eléctrica por parte de personas físicas o morales, destinada exclusivamente al abastecimiento para usos propios; y 5) la generación de energía eléctrica destinada a uso en emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público de energía eléctrica (*Ley del servicio público de energía eléctrica; texto vigente DOF 09-04-2012*).

La importancia del sector energético nacional es ampliamente reconocida. Se trata no sólo de un sector estratégico desde el punto de vista económico y de las finanzas públicas, sino que es también factor clave en la política exterior y vital para la seguridad nacional, para el buen funcionamiento de las actividades productivas y el bienestar de las familias mexicanas. Por ello, frente a la situación actual del país *-de deterioro social creciente y de un prolongado estancamiento económico-* es preciso dar un cambio radical a las políticas energéticas y en particular a las que se refieren al petróleo y la generación de energía eléctrica (*Carrillo, 2010*).

Nos encontramos ya en pleno siglo XXI y en lo referente al sector energía en México, vemos que, por un lado, la gestión que se hace del sector energético mexicano (*que ha sido encomendada constitucionalmente de manera casi exclusiva al Estado*), presenta insuficiencias que se traducen como una pérdida de oportunidades para el crecimiento del país y de sus empresas, así como para el mejoramiento de la población y la preservación del medio ambiente.

Por otro lado, tenemos que se carece de una sólida política integrada que favorezca el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales para la generación de energía a partir de recursos renovables aun cuando se sabe perfectamente que la tendencia del uso de combustibles fósiles irá gradualmente a la baja con el paso del tiempo. China, Estados Unidos y Alemania, entre otros países, son claros ejemplos de que es tiempo de ver más allá del petróleo y de otros recursos no renovables. Para el caso específico de México en cuanto a energía eólica se refiere (*la que más promoción y difusión tiene a nivel nacional*), pese a que cuenta con un recurso eólico importante, sigue sin tener trazado algún objetivo claro para la promoción del uso de tecnología eólica para la generación de energía eléctrica.

Darle impulso a la energía eólica, así como al resto de las energías renovables, mediante un plan prospectivo de desarrollo es algo que debe hacerse a la brevedad. Empero, en México no ocurre eso pese a que en fechas recientes, se presentó una iniciativa cuyo objetivo principal es reformar al sector energético mexicano con el fin de hacerlo más eficiente. En esa reforma energética, en términos generales, se cubre a las dos empresas paraestatales más importantes del sector energético mexicano: Pemex y CFE.

Los cambios que propone dicha reforma pretenden que el artículo 27 de la Carta Magna sea retomado íntegro por el Senado tal como estaba en las épocas cardenistas para reformar el sector energético. De esa forma, el Estado podrá celebrar contratos de “utilidad compartida”, sin perder el control de los energéticos (*Presidencia de la República, 2013*).



De acuerdo a lo expuesto por el presidente Enrique Peña Nieto, estos son los cinco elementos que conforman los cambios previstos para Petróleos Mexicanos en la reforma energética:

- Retomar palabra por palabra el texto del artículo 27 de la Constitución como en las épocas de Lázaro Cárdenas. Ello permitirá celebrar contratos de utilidad compartida y con ello generar energía más barata para todas las familias mexicanas.
- Un nuevo régimen fiscal para Pemex. En la iniciativa de reforma hacendaria que el Ejecutivo prevé entregar en los próximos meses, habrá un nuevo régimen de contribuciones para la paraestatal. Con ese nuevo régimen fiscal el Estado mexicano actuará como dueño de la riqueza petrolera con visión de largo plazo y no como un recaudador.
- Reestructura de Pemex. La paraestatal se reorganizará en dos subsidiarias. La primera, exploración y producción que estará enfocada a petróleo y gas; la segunda se abocará a la “transformación industrial”. Con esa reestructuración, Pemex tendrá mayor autonomía de gestión.
- Mejorar las condiciones de transparencia y rendición de cuentas. Se adoptarán las mejores prácticas de transparencia sobre obras, contratos y actividades que realiza Pemex que permita a los mexicanos tener un adecuado informe sobre los gastos de la paraestatal.
- Establecer reglas de contenido nacional en las compras y proyectos de infraestructura. Con ello se podrá utilizar el gran poder de compra de Pemex como palanca de desarrollo de la nueva política industrial mexicana.

En lo referente a la Comisión Federal de Electricidad, el Presidente Peña Nieto anunció los siguientes puntos:

- La reforma sobre el artículo 27 también permitirá la participación de particulares en la generación de electricidad. Actualmente un tercio de la energía ya es producida por la iniciativa privada. Sin embargo, debido a las restricciones actuales, esta energía sólo puede ser utilizada por las grandes empresas que tienen la capacidad de autogenerarla. Con la participación de empresas privadas, habrá una mayor oferta de electricidad y a menor costo.
- Mejorar el control del sistema eléctrico nacional así como el sistema público de distribución. Se adquirirá la energía en bloque más barata de cada productor.
- Se fortalecerá a la CFE para dotarla de más flexibilidad operativa y organizacional.
- Se reforzarán las facultades de la Comisión Reguladora de Energía.



- La reforma energética también será una “reforma verde” que favorecerá adopción de fuentes de energía menos contaminantes y de bajo costo.

En resumen, la reforma energética se centraría en los siguientes puntos:

- **Permitir mayor participación del sector privado.** La reforma constitucional despojaría a Pemex de “camisas de fuerza ideológicas” para permitir la entrada de capital privado. De esta forma, al permitir que la compañía se vincule con el capital privado, las firmas pueden traer conocimientos y capital
- **Papel de la IP.** Para que Pemex tenga una mayor competitividad y una mayor capacidad productiva se deben hacer inversiones en infraestructura para la exploración, producción y refinación mayor.
- **Mejorar la estructura corporativa de Pemex.** Existe la intención de unir las 5 subsidiarias de la paraestatal en una sola para agilizar el proceso de toma de decisiones.
- **Bajar el precio de la energía.** Uno de los objetivos principales de una reforma energética es la reducción de los precios en estos servicios mediante el impulso a la competitividad.
- **Detener las importaciones de gas natural.** Se espera que México pueda aprovechar las propias reservas de gas en lugar de importarlas.

Como ocurre con la gran mayoría de los documentos oficiales, tenemos que se habla de grandes propósitos pero no se tiene una idea clara de cómo llegar a la meta. La reforma energética propuesta por el Gobierno de Enrique Peña Nieto ha causado poco entusiasmo -y mucho escepticismo- en la prensa tanto nacional como internacional. Lo anterior debido a los variados intentos que se han hecho para hacer una reforma en el sector petrolero por más de 20 años; todos ellos sin éxito (*Krauss, citado por Esquivel, 2013*).

Análisis de la reforma energética 2013

La Agencia Internacional de Energía entiende por “seguridad energética” al estado en donde un país o región tiene o goza de una disponibilidad ininterrumpida de fuentes de energía a un precio asequible, tanto en el corto como en el largo plazo.

En el corto plazo, la seguridad energética hace referencia directa a la capacidad de reacción del sistema a cambios abruptos o desbalances entre la oferta y demanda de energía.

En cambio, en el largo plazo, la seguridad energética hace referencia a las inversiones necesarias para abastecer energía conforme se va dando el desarrollo económico del país y sus necesidades



ambientales. Otras definiciones relativamente parecidas son las del Foro Económico Mundial y el Consejo Mundial de Energía.

Por parte de la propuesta del Presidente de México, la consideración que se hace es que “se debe aprovechar la disponibilidad de energía primaria en el territorio nacional para lograr la procuración continua, diversificada y económica del suministro energético para ésta y las siguientes generaciones”.

Bajo cualquiera de estas visiones, nos encontramos con que México es un país inseguro energéticamente pues la estructura del sector energético en materia de hidrocarburos y en generación bruta de electricidad no está capacitada para afrontar los retos que se le han presentado y que se agravarán a tasas aceleradas en el próximo decenio (*Serra, 2013*).

Para redondear el anterior comentario, presentamos algunos datos interesantes:

- En el periodo comprendido entre 2000 y 2011, la sociedad mexicana incrementó su consumo de energía a una tasa promedio anual de 2.08%, pero simultáneamente y durante el mismo periodo, la producción de energía primaria disminuyó a una tasa anual de 0.3%.
- El consumo bruto de energía eléctrica del país crecerá a una tasa anual promedio de 3.97% entre los años 2014 a 2026. Demanda para la cual se tiene que ampliar necesariamente la capacidad de generación de electricidad por encima de los 75 GW, lo cual a su vez requiere una inversión de aproximadamente 1.34 billones de pesos de acuerdo a datos oficiales de la Comisión Federal de Electricidad.
- La demanda actual de gas natural asciende a casi 9.6 millones de pies cúbicos diarios y la red del Sistema nacional de gasoductos sólo puede transportar 5 millones de pies cúbicos al día, esto es, no se puede importar el insumo para satisfacerla, y para 2026 la situación empeoraría aún más puesto que se necesitarán 13.2 millones de pies cúbicos cada día.
- A pesar de que aparentemente México cuenta con un gran potencial en energías renovables (*altos niveles de insolación en un 70% del territorio nacional, alta intensidad de vientos en áreas como el Istmo de Tehuantepec, cuarta potencia mundial en recursos geotérmicos, alto potencial en plantas mini hidráulicas y grandes volúmenes de esquilmos agrícolas*), sólo percibe el 0.74% de la inversión mundial total en este tipo de energía.

México tiene un gran problema energético pese a que se trata de un país con infinidad de recursos naturales además de que se sigue considerando un país petrolero. El problema es que distintas generaciones de administraciones públicas han mantenido una visión de corto plazo del sector energético mexicano lo cual, por un lado, ha limitado a Pemex a ser garante de las cifras macroeconómicas y de las finanzas públicas del Estado mexicano. Por el otro lado, tenemos que el



petróleo, al ser una fuente “segura” de ingresos para el erario público, ha provocado una alta dependencia en los hidrocarburos.

Adicionalmente, tenemos que se ha promovido un portafolio de inversión en hidrocarburos estrictamente basado en criterios financieros, cuyo objetivo ha sido maximizar el monto de crudo extraído en el menor tiempo posible sin considerar el deterioro que dicha práctica ha impuesto en el horizonte de vida productiva de algunos campos, tal y como sucedió con Cantarell. Finalmente, la capacidad de cambio del sector energético ha sido constantemente frenada por diversos actores políticos de distintas ideologías porque persiste en el imaginario colectivo una asociación de la posesión del petróleo con la defensa de la soberanía nacional.

Estas condiciones han facilitado el agravamiento de las siguientes problemáticas:

- Una caída en la producción de petróleo por la baja incorporación de reservas y perforación de pozos explorados, así como por el decaimiento de campos de “fácil extracción”. Para dar una idea, de 2006 a 2011 la producción cayó en un millón de barriles diarios de petróleo crudo y de 1980 a 2010 la incorporación de reservas se desplomó en un 3.725%.
- Abandono de la investigación científica en petróleo: sólo 5 de cada 100 instituciones de investigación científica estudian temas relacionados a la industria petrolera, además de que no hay planeación en el desarrollo de recursos humanos calificados (*de 2006 a 2011 el número de matriculados y graduados del programa de Doctorado en el Instituto Mexicano del Petróleo cayó en 54% y 60%, respectivamente*).
- Una falta de planeación en el desarrollo de la infraestructura para la distribución del gas natural. La falta de dicha infraestructura genera, por un lado, cortes al suministro del gas (*que para 2011, representaron pérdidas de entre 1,500 y 3,300 millones de dólares para la industria mexicana*). Por otro lado, la falta de infraestructura obliga a la industria a recurrir al venteo y quema de gas sin aprovechamiento directo (*en 2011, se perdieron alrededor de 150 millones de dólares anuales por venteo y quema de gas*). Ambas situaciones, evidentemente malas para la industria, son conocidas como “alertas críticas”.
- Un sector eléctrico deficiente que, por un lado, mantiene una red de energía eléctrica que opera al límite de su capacidad y sufre pérdidas asociadas al consumo ilegal (*como los generados por los famosos “diablitos” que, en 2011, representaron el 50% de las pérdidas de energía, que es equivalente a 28,500 millones de pesos*). Por otro lado, presenta una excesiva capacidad instalada que envejece y se vuelve obsoleta e ineficiente (*50% de las subestaciones de distribución tiene 26 o más años de edad*), lo cual aumenta el costo de producción de la electricidad.
- Subsidios energéticos regresivos e ineficientes que carecen de toda lógica redistributiva y sustentable (*benefician a la población de mayor ingreso y promueven un mayor consumo de combustibles de origen fósil que contribuyen a la emisión de gases de efecto*



invernadero) y que representan un alto costo de oportunidad para otros programas sociales eficientes y de protección ambiental (*de 2005 a 2011 los subsidios a gas L.P., electricidad y gasolinas representaron 1.15 billones de pesos*).

- La matriz energética mexicana no es sustentable porque es altamente dependiente de hidrocarburos. Cabe señalar que en 2012, únicamente se produjo 22% de la electricidad a partir de energías renovables.

Nos dirigimos entonces hacia un México que en 2023 experimentará un desabasto energético, situación que impondrá particular presión sobre la competitividad de la industria nacional ante el nuevo arreglo geopolítico energético. Para evitar tal escenario, México necesita modificar su sector energético; incluso las voces de mayor oposición a la apertura del mismo lo reconocen:

- La administración pública debe generar una visión de largo plazo que libere a Pemex de sus funciones como brazo operativo del Estado y le permita, por un lado, reinvertir sus ganancias de la renta petrolera en investigación y desarrollo, y, por el otro, tener la capacidad financiera para desarrollar la infraestructura necesaria para la distribución del gas natural. Además, la visión del largo plazo exige la creación de un Fondo Soberano (*como el caso de la empresa noruega Petoro*) que efectivamente pueda distribuir los beneficios de la explotación de los hidrocarburos de forma intergeneracional.
- Pemex necesita de una reorganización estructural que elimine sus problemas de corrupción y que mejore su eficiencia operativa.
- Se tiene que incorporar el costo de oportunidad de los recursos no explotados dentro de la métrica de negocios de Pemex para que ésta sea sustentable y defina un portafolio de inversión basado en las fortalezas de Pemex, esto es, que le permita desarrollar libremente aquellos proyectos en los que cuenta con más experiencia y para los que la tasa de éxito es mayor.
- El concepto de soberanía nacional se tiene que reconstituir para que deje de estar ligado a la posesión del petróleo; la soberanía nacional tiene que estar ligada a la seguridad energética.
- Precisamente por el punto anterior, debe ser claro para todo planificador social que una verdadera modificación del sector energético en México forzosamente tiene que considerar cambios en la estructura del sector eléctrico, específicamente aquellos que otorguen transparencia a la definición de las tarifas eléctricas y permita la expansión y modernización de la red de transmisión.
- La seguridad energética debe estar estrechamente relacionada al desarrollo sustentable, de tal manera que la seguridad energética de México exige una transición hacia fuentes de



energía limpias que permitan el desarrollo ininterrumpido de la actividad productiva sin dañar el medio ambiente.

La iniciativa de reforma energética del presidente Enrique Peña Nieto está enfocada al petróleo y no plantea ni cómo se aumentará la producción de energía ni del impulso que debería de darse a las fuentes renovables de energía para reducir el impacto en el cambio climático. Si bien es cierto que la reforma constitucional presentada por Peña Nieto habla sobre energías renovables, por el momento se desconoce cómo se implementarán.

De acuerdo al Presidente de México, hay una intención de aumentar la generación de electricidad a través de sistemas eólicos y una tendencia a incrementar el uso de gas natural en el País. Lo curioso del caso es que, por ahora, es imposible saber algo concreto sobre los objetivos trazados y cómo se hará para alcanzarlos, porque sólo se conoce en relación a la reforma constitucional. Falta conocer qué cambios implicaría la misma a otras leyes secundarias.

En el texto de reforma presentado el pasado 12 de agosto por Peña Nieto, sólo se muestran los cambios a los párrafos de los artículos 27 y 28 de la Constitución, donde se abre la participación de la iniciativa privada al sector petrolero y eléctrico.

En cuanto a la difusión de tecnologías renovables se refiere, hemos de mencionar que el documento “Estrategia Nacional de Energía 2013-2027”, emitido por el Gobierno Federal, plantea incrementar la generación de electricidad a través de energías renovables -*eólica, termoeléctricas, solar, etcétera*- hasta un 35% del total para el año 2024. La realidad es que esa meta se ve lejana debido a que la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética se ha quedado en papel y no hay financiamiento para grandes proyectos.

Para cumplir con los objetivos de esa Ley se necesita invertir en proyectos, o se quedará sólo en buenas intenciones. La meta es muy ambiciosa. Ya existen proyectos en marcha, como los de generación de electricidad vía eólica que particulares venden a la Comisión Federal de Electricidad, pero que son insuficientes para llegar al objetivo trazado (*Tabla 02*).

Otro punto negativo que se encuentra en la propuesta de Peña Nieto es que se promueve la explotación del gas *shale* cuyas reservas se encuentran al norte del país. Para la extracción de dicho gas se realiza “*fracking*” o fractura hidráulica en el subsuelo (*esto es que, para extraer este gas, se requiere de grandes cantidades de agua, en una zona afectada por la sequía*). Además, en el proceso de extracción se emiten grandes cantidades de gas metano, un gas de efecto invernadero más peligroso que el dióxido de carbono. Evidentemente nos encontramos frente a una reforma energética que sigue apostando fuertemente por hidrocarburos y deja de lado la aplicación de fuentes alternas para generar energía a partir de recursos renovables.



	Nombre	Capacidad kW	Modalidad	Localidad	Operador
1	Arriaga	28,800.00	AUTO	Chiapas	Grupo Salinas
2	Bii Nee Stipa I	26,350.00	AUTO	Oaxaca	Iberdrola
3	Bii Nee Stipa II	74,000.00	AUTO	Oaxaca	Gamesa / ENEL
4	Bii Nee Stipa III	70,000.00	AUTO	Oaxaca	Gamesa / ENEL
5	Cancún	1,500.00	PIE	Quintana Roo	Acciona
6	Cementos Apasco	500.00	AUTO	Coahuila	Cementos Apasco
7	Eurus I	37,500.00	AUTO	Oaxaca	Acciona
8	Eurus II	213,000.00	AUTO	Oaxaca	Acciona
9	Fuerza Eólica del Istmo I	50,000.00	AUTO	Oaxaca	Grupo Peñoles
10	Fuerza Eólica del Istmo II	30,000.00	AUTO	Oaxaca	Grupo Peñoles
11	Guerrero Negro	600.00	OPF	Baja California	CFE
12	La Mata – La Ventosa	67,500.00	AUTO	Oaxaca	EDF-EN
13	La Rumorosa I	10,000.00	AUTO	Baja California	Turbo Power
14	La Venta I	1,575.00	OPF	Oaxaca	CFE
15	La Venta II	83,300.00	OPF	Oaxaca	CFE
16	La Venta III	102,000.00	PIE	Oaxaca	Iberdrola
17	Los Vergeles	161,000.00	PIE	Tamaulipas	Siemens
18	Oaxaca I	101,000.00	PIE	Oaxaca	EYRA
19	Oaxaca II	102,000.00	PIE	Oaxaca	Acciona
20	Oaxaca III	102,000.00	PIE	Oaxaca	Acciona
21	Oaxaca IV	102,000.00	PIE	Oaxaca	Acciona
22	Parques Ecológicos de México	79,900.00	AUTO	Oaxaca	Iberdrola
23	Piedra Larga	227,500.00	AUTO	Oaxaca	Renovialia
24	Somolinos	10,560.00	PIE	Guadalajara	Iberdrola

**Tabla 02: Los 24 parques eólicos con lo que cuenta México en la actualidad.
Construcción propia a partir de datos de The Wind Power Database, 2013**

De todo esto se desprende que, manteniendo el estado de cosas actual, en 10 años México no será energéticamente sustentable.

Como se ha mencionado anteriormente, mientras la demanda por energía se incrementó a una tasa anual de 2.08% entre 2000 y 2011, la producción de energía primaria cayó en 0.3% cada año. De continuar estas tendencias, nuestro país podría volverse un importador neto de energía pese a contar con amplios recursos dentro de sus fronteras. Es imperativo que el gobierno mexicano diseñe políticas públicas de largo plazo que permitan garantizar el acceso a fuentes de energía eficientes, ambientalmente limpias y que potencialicen el desarrollo de la economía.

El hecho es que la seguridad energética mexicana está en riesgo porque se han privilegiado políticas de corto plazo que utilizan los hidrocarburos como sostén de las finanzas públicas. Como se mencionó anteriormente, la aparente simbiosis que existe entre Pemex y el gobierno mexicano ha derivado en políticas de exploración y explotación de los recursos petroleros bajo criterios políticos en lugar de económicos (*o ambientales*). No sólo se absorbe una grandísima cantidad de ingresos de Pemex para tapar los boquetes fiscales del erario, sino que se han promovido unos portafolios de inversión en hidrocarburos que maximizan la cantidad de barriles extraídos de forma inmediata (*sin importar el deterioro en la vida productiva de los campos que esto puede ocasionar*).



Además, no se ha invertido suficiente en la infraestructura de transmisión y distribución tanto de la electricidad como de su principal insumo: el gas natural. Adicionalmente, México se encuentra lejos de poder cumplir las obligaciones contraídas internacionalmente con respecto al porcentaje de generación eléctrica proveniente de energías renovables.

Con base en lo anterior y a manera de conclusión al análisis realizado al documento sobre la reforma energética 2013, se puede señalar que la iniciativa de Peña Nieto no puede calificarse de “verde” pues sigue enfocándose en el petróleo y hasta ahora se desconoce cómo se transitará hacia energías menos contaminantes. Pese a que se ve con buenos ojos la apertura del sector eléctrico, el problema es que se sigue sustentando todo en el petróleo y *-peor aún-*, en la explotación en aguas profundas con todo el riesgo ambiental que eso implica. No hay una visión de país para ir hacia energías más limpias.

Debido a la fragilidad de México ante el cambio climático, su transición energética es un imperativo impostergable. Por un lado, la generación de energía eléctrica es uno de los componentes más importantes de las emisiones de gases de efecto invernadero (*GEI*) en el sector energía, ya que aporta 60% de las emisiones totales. Por el otro, se tiene el mandato en la Ley General de Cambio Climático (*LGCC*) de generar el 35% de la electricidad mediante energías no fósiles para el año 2024, así como la meta de reducir las emisiones de *GEI* en 30% con respecto a la línea base para el año 2020.

La penetración de las energías renovables en la canasta energética mexicana ha aumentado en los últimos años, pero no lo suficiente. Esto se debe a una inversión inconstante en el sector: la falta de capitalización del sector eólico se refleja en un lento avance en relación con el cumplimiento de las metas establecidas por el Gobierno Federal. En cuanto a porcentaje de la capacidad efectiva mediante energías renovables, la Secretaría de Energía reportó que sólo se cumplió la meta establecida para 2012 en el caso de la biomasa y el biogás, mientras que en relación con el porcentaje de generación eléctrica mediante energías renovables la meta para 2012 se logró sólo para las mini hidráulicas, la biomasa y el biogás. Resulta claro que para detonar el potencial de México como productor de energías renovables, se necesita una estrategia que, por un lado, dimensione adecuadamente el potencial que se tiene de las diferentes formas de energías renovables en el país. Por otro lado, se requiere de una estrategia que fomente su utilización.

El desarrollo de las energías renovables en México, aunque demasiado lento, aparentemente va por buen camino. No obstante, para un país que se encuentra entre los 20 más atractivos en términos de mercado para dichas energías, una participación menor al 1% del monto total de inversión mundial no es suficiente. Para incrementarlo, se tiene que generar la seguridad jurídica y los esquemas financieros, además de hacer una promoción de los beneficios que provee el país en materia de recursos renovables.

Por tratarse de un instrumento programático, la Estrategia Nacional de Cambio Climático de la presente administración no detalla el esquema normativo adecuado para generar tal ambiente favorable. Finalmente, la ENCC tampoco pone sobre la mesa la posibilidad de impulsar el desarrollo de energías renovables a través de un esquema de impuestos o compensaciones para



promoverlos de forma eficiente en el mercado energético mexicano. En definitiva, el “reloj biológico y económico” de México indica que ha llegado la hora para que se elaboren políticas públicas específicas para diversificar la composición de la matriz energética del país.

Lo anterior hace indispensable la creación de un plan orientado hacia tecnologías renovables para la generación de energía. La confección de un plan prospectivo de esta naturaleza ha de ir siempre en consonancia con el proyecto que queramos ejecutar y debe ser el documento que marque nuestra actuación. En un plan prospectivo de desarrollo de energía eólica se deben recoger todas las características que reúna el conjunto de actividades a realizar para alcanzar los fines propuestos en el proyecto y que no es otro sino promover el uso y desarrollo de tecnología eólica para la generación de energía eléctrica.

No se debe pasar por alto que uno de los aspectos fundamentales en la vida de cualquier empresa, país, persona, etc., es la confección de planes de acción para realizar una determinada actividad puntual. Dichos planes son instrumentos que se requieren para conseguir los objetivos que se pretenden alcanzar además de que, durante el desarrollo mismo del plan, puede darse valor a las metas conseguidas además de que puede detectarse cualquier fallo u omisión a fin de corregir el rumbo de forma adecuada.

Premisas de planeación

Para empezar con la estructuración de un adecuado plan prospectivo de desarrollo para uso y promoción de tecnología eólica, es fundamental establecer los puntos más importantes que acotaran el plan prospectivo. Los puntos a desarrollar derivan de las conclusiones más importantes obtenidas de los anteriores capítulos (*análisis de la situación mundial en cuanto a uso y promoción de energía eólica*), así como de la situación actual de México en cuanto al sector energético.

- 1. El potencial eólico del país no ha sido evaluado de manera exhaustiva. Por lo tanto, se requiere realizar su evaluación para determinar las zonas más viables para el desarrollo eólico y proyectar instalaciones y requerimientos mínimos para conexión de esa fuente a la red eléctrica nacional.**

De acuerdo a Sánchez (2010), Los intentos para evaluar el potencial de la energía eólica en México, se pueden situar en los primeros estudios desarrollados por el IIE (*Instituto de Investigaciones Eléctricas*), en la década de los 70. Ya para la década de los 80, el IIE se constituyó como la institución líder en la evaluación del potencial eólico en México, instalando estaciones de monitoreo en diversas partes del país, tales como Zacatecas, Tamaulipas, Veracruz, Oaxaca, Coahuila, Hidalgo y Guerrero. Pese a lo anterior, no se han realizado estudios directos basados en las normas internacionales respectivas (*IEC 61400-12-1:2005; International Standard for Wind Turbines*).



Dentro de la literatura que analizamos, se aprecia que no existe referencia a algún documento, informe o conclusión oficial en lo que se refiere al estudio del potencial eólico real de México (*el listado de los documentos analizados, se encuentra en la bibliografía*).

Tal y como lo señala Sebitosi (2008), la eficiencia energética eólica es una de las más potentes y rentables formas de satisfacer las demandas del desarrollo sostenible. La importancia de aplicar instrumentos de apoyo a las políticas para promover la difusión de estas tecnologías es ya una norma aceptada universalmente.

En términos generales, la energía eólica es considerada una gran alternativa para la generación de energía eléctrica desde el punto de vista social y del medio ambiente. Se deben considerar numerosos factores locales que influyen o determinan la intensidad y periodicidad de los movimientos del viento. Estos factores, difíciles de simplificar por su multiplicidad, son los que permiten referirse a vientos locales, los cuales son en muchos lugares más representativos que los de carácter general. De ahí la importancia de su estudio y caracterización a nivel local.

El conocimiento exhaustivo del comportamiento del viento es esencial para múltiples aplicaciones como:

- Diseñar campos de generación de energía eléctrica
- Determinar el comportamiento de los ciclones tropicales
- Determinar la periodicidad del viento
- Determinar el sitio de evaluación del recurso eólico

Las mediciones de viento se realizan durante dos fases del proyecto: por un lado, para la realización de informes de ubicación, con el objetivo de calcular el rendimiento energético de un futuro parque eólico. Por otro lado, después de la construcción del parque eólico, la medición del viento se realiza con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento de las turbinas y de los otros componentes del parque con el fin de cotejar los valores iniciales (*fase 1*), con los definitivos (*fase 2*).

La medición inicial que se haga en el sitio considerado como explotable deberá contar con una alta exactitud y fiabilidad de las medidas pues ambas características son necesarias para pronosticar los beneficios generados. Antes de la inversión, los peritos se encargan de llevar a cabo los informes de ubicación. Para generar estos informes, la adquisición de los datos debe durar al menos 12 meses para poder determinar un pronóstico consistente de la futura fuente energética. Con este objetivo, la elección de un sistema de medición adecuado, así como su colocación y un lugar de posicionamiento correcto de la torre de medición son un factor decisivo.

En comparación con los elevados costes de inversión de un parque eólico, el precio de una torre de medición junto con los mejores sensores del mercado es reducido. El inversor que intenta ahorrar en esta parte del proyecto estará asumiendo unos riesgos financieros inmensos. Un error



del 3% en la medición de la velocidad del viento puede ocasionar desviaciones de hasta el 10% en el rendimiento energético anual del futuro parque eólico (*Ammonit Measurement GmbH, 2012*).

La norma IEC 61400-12-1:2005 describe tanto la correcta construcción de la torre de medición como el posicionamiento, el tipo y la calidad de los sensores. Estos estándares, unidos a las recomendaciones de peritos y de productores de sistema de medición ofrecen una muy buena base para que la inversión sea satisfactoria.

De acuerdo a Mattio (2009), la determinación del potencial eólico de un sitio para generación de energía eléctrica mediante aerogeneradores, el cálculo de la producción anual de energía y el costo de la energía generada son muy sensibles al valor de la velocidad del viento medida. Esto hace necesario adoptar una buena práctica en la selección del anemómetro, en su calibración y el montaje en campo, para reducir las incertidumbres y sus consecuencias.

Al momento de la redacción de este documento, México no cuenta con túnel de viento certificado con los estándares internacionales. Esta es una necesidad muy importante tanto para las nuevas granjas eólicas que van a desarrollarse en el país como para las certificaciones de curvas de potencia de aerogeneradores. Mediante la utilización de un instrumento de medición portátil y certificado (*conocido en el mundo de la metrología como "patrón viajero"*), podría lograrse la certificación de alguno de los túneles de viento existentes en el país.

Las valoraciones de las condiciones extremas de viento, niveles de turbulencia, efectos de estela en granjas eólicas, son de importancia porque afectarán la vida útil de los aerogeneradores, determinarán su clase y afectarán también a la producción de energía. Las condiciones extremas de viento y la turbulencia son sensibles a ambos parámetros: velocidad y dirección del viento.

De acuerdo a las recomendaciones que hace el grupo de expertos de la Agencia Internacional de Energía, del Programa para la Investigación y desarrollo de sistemas de conversión de energía eólica (1999), para la evaluación del potencial eólico de un sitio, los equipos de medición deben entregar por lo menos los siguientes datos:

- Velocidad del viento, expresado en metros por segundo (*m/s*). Dicho dato deberá obtenerse en intervalos de 10 minutos *c/u*. En terrenos de topografía no compleja (*llanuras*), se recomienda medir en por lo menos dos alturas: un sensor entre 10 y 30 m, y otro entre 50 y 80 m. En terrenos complejos (*valles montañosos*), se recomienda medir por lo menos en tres alturas: un sensor entre 10 y 25 m, otro entre 30 y 50 m, otro entre 60 y 80 m. Se podrá medir a otras alturas, justificando adecuadamente en cada caso.
- Desviación estándar de velocidad de viento, expresado en metros por segundo (*m/s*). Dicho dato deberá obtenerse en intervalos de 10 minutos *c/u*.
- Dirección del viento. Dicho dato deberá obtenerse en intervalos de 10 minutos *c/u* y al menos en dos alturas comprendidas entre 1.5 y 5 metros por debajo del anemómetro. La



dirección del viento se obtendrá con la ayuda de una veleta montada en la torre meteorológica. Se recomienda no instalar la veleta al mismo nivel que el anemómetro.

- Velocidades máxima y mínima del viento, expresado en metros por segundo (m/s). Dicho dato deberá obtenerse en intervalos de 10 minutos c/u.
- Máxima velocidad de ráfaga de 3 segundos de duración, expresado en metros por segundo (m/s). Dicho dato deberá obtenerse en intervalos de 10 minutos c/u.
- Temperatura ambiente, dato expresado en grados centígrados ($^{\circ}C$). Dicho dato deberá obtenerse en intervalos de 10 minutos c/u y por lo menos se tomará en dos alturas comprendidas entre 1.5 y 8 m por debajo del anemómetro. Las mediciones deben ser confiables incluso en décimas y centésimas de $^{\circ}C$, de tal forma que se puedan detectar diferencias de temperaturas en la altura.
- Presión atmosférica en Pascales (Pa) Dicho dato deberá obtenerse en intervalos de 10 minutos c/u.

El período mínimo de mediciones será de un año. Cuando se vaya a realizar extensión de la serie de datos en el tiempo mediante el método MCP (*Medición, Correlación, Predicción*), y siempre que se cuente con datos de otra estación de por lo menos un par de años para realizar la extensión, el período mínimo de medición será de 4 meses. Es importante señalar que el anemómetro debe ser calibrado antes y después de la campaña de medición.

En síntesis, los parámetros que deben ser medidos son:

- Velocidad media anual del viento.
- Velocidad media del viento cada mes del año.
- El comportamiento típico diario cada mes del año.
- La duración y distribución anual de los períodos de calma.
- Las rachas máximas de velocidad de viento.
- La dirección del viento.
- Temperatura ambiente.

Con base en la Norma IEC 61400-12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines (2005), se dan las siguientes consideraciones para la elaboración y/o certificación de la curva de potencia del molino y la Producción Anual de Energía estimada (*PAE*) con base en la medición de velocidad y dirección del viento y la potencia eléctrica entregada por el molino:

- La curva de potencia de un aerogenerador es un gráfico que indica cuál será la potencia eléctrica disponible en el aerogenerador a diferentes velocidades del viento (*Figura 03*).



- Las curvas de potencia se obtienen a partir de medidas realizadas en campo, dónde un anemómetro es situado sobre un mástil relativamente cerca del aerogenerador (*no sobre el mismo aerogenerador ni demasiado cerca de él, pues el rotor del aerogenerador puede crear turbulencia, y causar que la medida de la velocidad del viento sea poco fiable*).
- Si la velocidad del viento no está variando demasiado rápidamente, pueden usarse las medidas de la velocidad del viento realizadas con el anemómetro y leer la potencia eléctrica disponible directamente del aerogenerador.

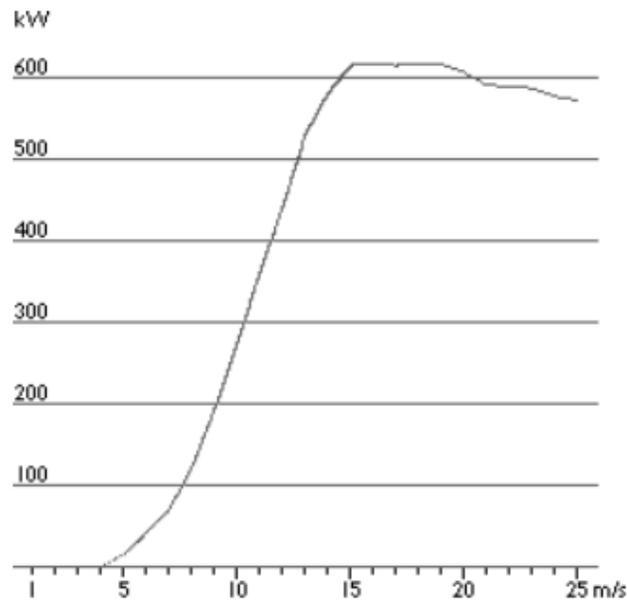


Figura 03: Curva de potencia de un aerogenerador típico de 600 kW
Asociación danesa de la industria eólica, 2010

Debe tomarse en cuenta que una curva de potencia no indicará cuánta potencia producirá un aerogenerador a una cierta velocidad del viento media. Se debe recordar que el contenido de energía varía fuertemente con la velocidad del viento. Por lo tanto, es muy importante considerar la forma a la que se ha llegado a ese promedio, es decir, si los vientos varían mucho o si soplan a una velocidad relativamente constante.

En conclusión, la curva de potencia se determinará midiendo, sincronizada y simultáneamente, la velocidad del viento (*utilizando una torre anemométrica*) y la potencia eléctrica entregada por el aerogenerador ubicado en el sitio de medición, en un período lo suficientemente largo (como mínimo 3 meses), para obtener una base de datos verdaderamente significativo para la estadística, sobre un conjunto de valores de velocidad de viento y condiciones atmosféricas.



En lo referente a la PAE, ésta se calcula comparando la curva de potencia certificada proporcionada por el fabricante contra la curva de potencia obtenida por las mediciones en sitio (*Mattio, 2009*).

De los datos anteriores también se obtiene el factor de carga o de planta: cociente entre la energía real generada por el generador eólico durante cierto período (*generalmente un año*) y la energía generada si hubiera trabajado a plena carga durante ese mismo período, conforme valores nominales que se encuentran en la placa de identificación de los equipos generadores.

Por lo anterior, se concluye que los datos que arroje el análisis del potencial eólico en una determinada región darán la pauta necesaria para la elección del aerogenerador adecuado con base a la Producción Anual de Energía estimada siempre y cuando se utilice la metodología más apegada a normativa internacional para obtener los mejores resultados.

2. Establecer mecanismos de apoyo para garantizar que tanto la Comisión Federal de Electricidad (máximo organismo responsable del control, generación, transmisión y comercialización de energía eléctrica en el país), como los productores independientes de energía, sean capaces de proporcionar a la red eléctrica nacional una cantidad de energía mínima producto de una fuente renovable.

De igual forma que en el punto número uno, se ha revisado la reglamentación pertinente sin encontrar argumentos válidos que demuestren obligatoriedad en el uso y difusión de tecnologías renovables (*el listado de los documentos analizados, se encuentra en la bibliografía*).

Los mecanismos que se tienen actualmente por parte de la CRE tienen cierta utilidad pero no son suficientes. Se requiere de un fortalecimiento institucional en todo lo referente al uso de tecnologías renovables mediante un marco legal renovado que propicie el otorgamiento de facultades puntuales a la SENER y a la CRE. Con este nuevo marco legal, puede esperarse un desarrollo en el campo de energías renovables mediante la promoción y aprobación de nuevos y mejores proyectos. Lo anterior permitirá que el país aproveche una riqueza de recursos importantes y reduzca su dependencia en las energías fósiles.

De acuerdo a Vera (*2012*), existe un gran número de mecanismos específicos de promoción de las energías renovables. A continuación se ofrece un resumen esquemático de las diferentes tipologías existentes con base en la información proporcionada por EWEA (*2005*). Tabla 04.

Analizando la información de la tabla, se distinguen, en primer lugar, mecanismos de apoyo directo e indirecto. Los primeros buscan un impacto inmediato sobre el volumen de capacidad instalada (*precio y capacidad*), en tanto que los segundos están orientados a crear las condiciones necesarias para el desarrollo de la inversión en el mediano/largo plazo.



Un segundo conjunto de criterios hace referencia a la obligatoriedad o voluntariedad de cumplimiento. Los segundos (*voluntarios*) están basados en los compromisos asumidos por parte de algunos agentes no necesariamente ligados a incentivos económicos específicos. Por ejemplo, consumidores dispuestos a pagar precios diferentes por el disfrute de energía de origen «verde».

Finalmente, en la tabla se hace una distinción en función de la meta a la que se dirige el mecanismo. Dicha meta puede estar orientada directamente a la inversión realizada (*inversión*); o, por el contrario, estar directamente orientada a fijar un nivel de potencia instalada pero sin tomar en cuenta costos (*producción*).

		Directo		Indirecto
		Precio	Capacidad	
Regulado	Orientado a la inversión	- Subsidios - Crédito fiscal	- Subastas	- Impuestos ambientales
	Orientado a la producción	- Feed-in-Tariffs - Primas	- Subastas - Certificados verde	
Voluntario	Orientado a la inversión	Donaciones, ayuda al desarrollo		-Acuerdos voluntarios
	Orientado a la producción	Tarifas verdes		

**Tabla 04: Algunos sistemas de apoyo a las energías renovables.
EWEA, 2005**

Los mecanismos regulados orientados al precio y a la inversión son utilizados fundamentalmente en los EEUU. Son mecanismos más complejos que el resto, basados en exenciones fiscales sobre beneficios, deducciones por la inversión y/o esquemas de amortización fiscal acelerada de los activos.

Por otra parte, los mecanismos regulados orientados a la producción y el precio constituyen el modelo más extendido en Europa. Estos tratan de compensar el valor de la «externalidad» no recogido por los precios de mercado, ofreciendo una renta extra al productor renovable, de manera que todas las tecnologías compitan en igualdad de condiciones (*level playing field*).

Las dos formas más comunes son los sistemas de primas y los denominados feed-in- tariffs. Los primeros consisten en la estipulación de pagos fijos al generador (*componente «verde»*) que se añaden al precio de mercado (*componente «marrón»*) y pueden ir acompañados de algunas medidas complementarias, como por ejemplo:

- Suelos y techos de retribución total, buscando garantizar unos rangos de rentabilidad razonables al inversor en las tecnologías, al tiempo que limitan el coste total para los consumidores.



- Obligación por parte del regulador (*generalmente se trata del gobierno*), de comprar toda la energía generada a partir de un recurso renovable.

Los feed-in-tariffs (*FiTs*) son tarifas fijas establecidas de forma administrativa, lo que garantiza al productor un flujo de ingresos recurrente e independiente de la volatilidad de los precios del mercado.

Con base en lo anteriormente expuesto, podemos decir que el marco regulatorio de apoyo a la industria de la energía eólica es clave para su desarrollo. De acuerdo a EWEA (2005), se han ensayado desde hace varios años varios modelos, descritos a detalle en la tabla anterior, sin que haya una evidencia concluyente sobre cuál de ellos presenta mayor efectividad. No obstante a lo anterior, sí es posible constatar una mayor difusión de los mecanismos de primas a la producción y una gran presencia de modelos mixtos, que combinan dos o más mecanismos.

Retomando el caso de México, tenemos que el marco legal y regulatorio es pobre y deficiente. Las reglas para el desarrollo de proyectos de pequeña producción son, sin lugar a dudas, un tema muy importante. Para el sector eólico nacional el principal reto es la planificación a mediano y largo plazos para lograr un crecimiento de manera sostenida; otro de los retos está en cimentar la seguridad en la parte de terrenos, así como la cuestión social en muchos de los proyectos, demostrando los beneficios para las regiones en las que se desarrollan (*Salazar, 2012*).

Es necesario planificar en forma más adecuada, además de lo referente al uso de energías renovables, la expansión de redes de transmisión de energía para crecer de una manera ordenada y bajo esquemas que permitan la entrada de productores de mediana y pequeña escala, lo que hará una gran diferencia para que el crecimiento se consolide. Aunque ya existe la figura de productores independientes de energía, la realidad es que aún no están bien definidas ni las reglas ni los requerimientos para este tipo de proyectos.

Con base en los casos de éxito de otros países como Estados Unidos, Alemania y China, se sugieren las siguientes líneas de acción para tener un marco regulatorio exitoso para promoción y uso de la energía eólica (*entre otras fuentes renovables*):

- El estado deberá dar prioridad de acceso a la Red Eléctrica Nacional a las plantas generadoras de energía a partir de recursos renovables además de tener claridad sobre los gastos del acceso a la red.
- El estado deberá garantizar a los productores independientes de energía eléctrica (PIE), la compra de toda la energía disponible que sea generada a partir de fuentes renovables.
- El Estado, junto con la Comisión Reguladora de Energía, la Comisión Federal de Electricidad y la Secretaría de Energía, deberán determinar una cantidad mínima de energía renovable obligatoria para todos los productores de energía, sean nacionales o privados.



- Con base en especificaciones de CFE y la CRE, deberán crearse y regularse 3 permisos básicos:
 - Conexión y uso de la Red Eléctrica Nacional (*reglas de interconexión con generadores de energía eléctrica a partir de fuentes renovables*).
 - Autorización de suministro de energía eléctrica a la red eléctrica nacional (*vertido*); y
 - Autorización como productor de electricidad mediante tecnologías renovables.

- Con base en los resultados que pueda arrojar el estudio de potencial eólico nacional, la comercialización y uso de generadores eólicos deberán cumplir con determinados requisitos en función del objetivo y su lugar de utilización.

- Con base en los mecanismos de apoyo directo (*impacto inmediato sobre el volumen de capacidad instalada*), los proyectos de energía eólica deberán obtener una remuneración garantizada por kWh. Los apoyos directos deberán traducirse en ser exenciones fiscales o deducciones por la inversión realizada.

- Con base en los mecanismos de apoyo indirecto (*orientados a crear las condiciones necesarias para el desarrollo de la inversión en el mediano/largo plazo*) y a fin de incentivar y promover el uso de energía eólica (*y otras de carácter renovable*), deberá crearse una tarifa especial que represente un pago compensatorio a los propietarios de los sistemas de energías renovables cuando la energía de sus sistemas se vende a la red pública.

- Tomando como base el caso de éxito de Estados Unidos y Alemania, las tarifas se fijarían a 20 años (*esto es de acuerdo a la vida útil estimada de un generador eólico que es de 20 a 25 años. La expectativa de vida puede prolongarse a medida que la tecnología continúe madurando*). Lo anterior permitirá realizar una eficiente planificación de base, lo cual supondrá el principal motor del mercado renovable en México.

- Pese a que aún es demasiado prematuro hablar del tema, deberá analizarse la posibilidad de re potencializar parques eólicos en determinado periodo de tiempo. La reducción del número de generadores y el incremento simultáneo de la potencia en los generadores, son una oportunidad importante para incrementar la capacidad de un parque eólico.

Se desprende, como conclusión, que los países que muestran los mayores avances en materia de las energías renovables, son aquellas que han logrado consolidar un marco regulatorio para la correcta promoción de dichas energías. Para el caso puntual de México, es necesaria la aplicación de instrumentos que promuevan el uso de tecnologías para la generación de energía a partir de recursos renovables mediante la formulación e implementación de un marco regulatorio que incluya de manera prioritaria a las diversas energías renovables. Lo fundamental es que dicho



marco regulatorio sea estable y promueva de forma gradual pero sostenida la actividad industrial del sector renovable (*eólico incluido*).

3. Crear la legislación y los mecanismos necesarios que garanticen paz y desarrollo a los habitantes de las comunidades cercanas a los complejos eólicos para generar oportunidades de empleo, entre otros beneficios sociales.

En México la importancia por la equidad social y la búsqueda de mejores medios de aplicación de políticas públicas sigue siendo un tema olvidado en las agendas de gobierno pues en la práctica, la participación de los ciudadanos en las políticas públicas para el desarrollo de grandes proyectos no resulta importante para el gobierno federal.

El Estado Mexicano no ha definido ni reglas ni mecanismos para su desarrollo. Lo peor de todo es que ha permitido que las empresas privadas sean las que negocien directamente con las comunidades. Toda esta situación ha puesto a las comunidades en una posición de desventaja y vulnerabilidad, que es necesario evitar

El verdadero problema es, en realidad, la pretensión de las empresas para enriquecerse a costa de despojar a los pueblos de sus recursos naturales, dejándolos sin posibilidades de acceder a un mínimo de bienestar que les permita vivir dignamente. Un ejemplo claro que ilustra la ignorancia, corrupción o irresponsabilidad del gobierno mexicano es lo que puede verse atrás de la declaración del gobernador oaxaqueño de que los campesinos se benefician con la renta de su tierra, pues es una verdad conocida que las empresas les pagarán 100 pesos anuales por hectárea durante los treinta años de vida útil de los proyectos (*López, 2012*).

Las empresas trasnacionales vienen únicamente a hacerse de recursos y tratan a toda costa de que nada ni nadie se oponga en su camino. Cuando las comunidades afectadas recurren a las autoridades pertinentes a exponer alguna queja en relación a alguna falta cometida, las empresas muestran descontento debido a que atenta contra sus intereses.

Resulta entonces vital que se modifique la postura del gobierno a fin de lograr un consenso entre habitantes de las comunidades involucradas y empresas privadas. Dicho consenso deberá favorecer, ley en mano y en primera instancia, a las comunidades involucradas y evitar a toda costa el descrédito y las amenazas que suelen realizar las empresas privadas a dichas comunidades. El gobierno y el sector privado deberían darse cuenta de que los pueblos no están contra el desarrollo, como fácilmente se afirma, sino de que en nombre de él se les despoje de su patrimonio.

Estamos muy a tiempo de recomponer el ambiente social y político que involucra comunidades humanas y empresas privadas dentro del naciente sector eólico mexicano. Ojalá y sea esto lo que el sector económico del país y el gobierno realmente busquen.



Desde la óptica de Gobierno y de las empresas, la energía eólica deberá ser promovida bajo sólidos argumentos que fomenten el desarrollo económico de todas las regiones del país que cuenten con un importante recurso eólico. Lo anterior será posible si:

- Se inyecta capital privado y se crean puestos de trabajo
- Se suministra energía eléctrica a las zonas rurales que carecen del servicio de electricidad

- Se reduce a escala nacional las emisión de gases de efecto invernadero para fortalecer la seguridad energética de cara al cambio climático

- Se disminuye la producción de petróleo convencional para la generación de energía eléctrica nacional.

Con el fin de mitigar los impactos sociales y evitar violaciones a derechos humanos en la implementación de proyectos eólicos, se sugieren las siguientes acciones:

- Crear un Protocolo para el desarrollo de proyectos que garantice el respeto de los derechos humanos consagrados en normas obligatorias tanto mexicanas como internacionales. El protocolo deberá quedar contemplado en todos los instrumentos de política pública implicados y debe cumplir los siguientes objetivos:
 - Integrar criterios e indicadores que sirvan para verificar el cumplimiento de las condiciones ambientales y sociales indispensables mínimas alrededor de toda construcción de parques eólicos.
 - Incentivar la derrama económica en la región mediante la creación de empleos y el otorgamiento de oportunidades de capacitación y desarrollo, de manera que beneficie a toda la comunidad incluyendo a aquellos individuos que no tienen tierras para el arrendamiento de las mismas.
 - Promover sistemas de colaboración entre el sector privado desarrollador, el propio gobierno estatal y las comunidades locales.

- Garantizar que las comunidades involucradas cuenten con información oportuna, completa, clara y en su idioma, antes de aprobar el financiamiento para estos proyectos.

- Garantizar que las decisiones tomadas por las comunidades sean escuchadas y respetadas, incluso si son negativas con referencia al desarrollo de algún proyecto en particular. Lo anterior dará peso y justificación al consentimiento libre, previo e informado.



- El Estado deberá velar por la generación de oportunidades para las comunidades, tales como la oferta de empleos e incluso el apoyo para el desarrollo de proyectos comunitarios en beneficio de la misma comunidad.
- Elaborar, publicar y aplicar una metodología para medir las externalidades de los proyectos, mediante la cual, la Comisión Reguladora de Energía evalúe su sustentabilidad, con base en evaluaciones independientes. En función de los resultados, la Comisión podrá otorgar o negar el acceso prioritario a la red, dándole preferencia a aquellos proyectos que beneficien más a las comunidades locales.
- Elaborar, publicar y aplicar procesos uniformes de negociación que permitan realizarlos bajo los mismos estándares. Las condiciones de los contratos no deben de cambiar, independientemente de la empresa en cuestión.

El potencial eólico de México constituye un área de oportunidad para la generación de la energía eólica. Esto es verdad pese a que existen muchas dudas por parte de comunidades rurales sobre los beneficios sociales del proyecto. La correcta planeación y prospectiva de los proyectos eólicos deberá mostrar toda la información pertinente para poder ser evaluada por las comunidades implicadas.

Lo anterior deja claro que puede ser viable llegar a acuerdos entre empresas y comunidades rurales, además de sentar las bases necesarias para la regulación y vigilancia del impacto ambiental y social a través de normas y especificaciones.

4. Garantizar la vida y el desarrollo de comunidades humanas, flora y fauna en las cercanías de los complejos eólicos mediante un plan de gestión ambiental.

Como señalamos en el punto anterior (*derechos humanos*), la protección a los pueblos indígenas y comunidades rurales es fundamental para el país y no existen ejercicios claros para su protección y desarrollo en aspectos puntuales. Tal es el caso del uso y la explotación de la tierra para la instalación y puesta en operación de generadores eólicos sin ninguna planeación ecológica y humana.

De acuerdo a De las Fuentes (2010), los grupos étnicos, en general, cuentan con una larga experiencia en el manejo de los recursos naturales, puesto que han vivido desde tiempos inmemoriales en contacto directo con la naturaleza, obteniendo de ésta los benefactores necesarios para satisfacer sus necesidades. Aun cuando no hayan definido el concepto de desarrollo sustentable, llevan muchos años poniéndolo en práctica.

Uno de los factores que se deben considerar en la conservación del medio ambiente, es la preservación de la antropo diversidad o diversidad cultural, tomando en cuenta que la autonomía



de las comunidades indígenas y el desarrollo sustentable son un binomio indisoluble que requiere ser reivindicado, no sólo por el bien indígena, sino por el bien de la humanidad en su conjunto. Es por esto que los organismos internacionales han recomendado la permanencia de las poblaciones rurales en sus lugares de origen, pues es importante recordar que las etnias de diferentes latitudes del mundo *-no sólo en México-*, se encuentran directamente vinculadas con el apropiado manejo de los recursos naturales y México, no es la excepción. Por lo anterior, resulta indispensable que se promueva en todos los sectores la educación ambiental, la cual debe adecuarse a cada región a fin de lograr la protección efectiva del medio ambiente para que de esa forma se pueda conservar para las futuras generaciones.

El manejo de los recursos naturales no es un tema de escasez. Por el contrario, debe ser un tema de óptima administración y gestión de los recursos naturales de forma sustentable. La meta que debemos alcanzar es la defensa del patrimonio, inculcada en todos los ámbitos posibles, efectuándose de manera transversal, con el apoyo de la sociedad organizada y participativa, para alcanzar la preservación y conservación de nuestro medio ambiente, para así crear una nueva conciencia ambiental (*Del Mazo, 2013*).

La ley cubre algunos aspectos sobre protección al ambiente pero, nuevamente, nos encontramos que, ante las necesidades puntuales que representa la construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de un parque eólico, no existe nada escrito de manera oficial en los documentos revisados (*el listado de los documentos analizados, se encuentra en la bibliografía*). Evidentemente, es obligatorio tener bases legales perfectamente sustentadas debido a que el no tenerlas, atenta directamente sobre el patrimonio natural del país al dejar en manos de partículas, el uso y explotación de zonas puntuales sobre las que se proyectan parques eólicos.

Resultará importante la promoción de prácticas responsables para el uso, exploración, explotación, aprovechamiento y manejo de recursos naturales para delimitar perfectamente el marco regulatorio que permita que toda instalación generadora de energía a partir de recursos renovables pueda cumplir con los mínimos necesarios para la protección ambiental.

Lo anterior será posible si se incide correctamente en las políticas públicas medioambientales que existan o que se puedan derivar de una correcta investigación, análisis y financiamiento de proyectos de esta naturaleza. Se trata de proteger una parte central de nuestro patrimonio nacional: el capital natural.

Pese a que la realidad es que un parque eólico es un complejo cerrado, no está de más enlistar una serie de recomendaciones para lograr una correcta gestión ambiental vinculada con la construcción y operación de todo parque eólico. Las recomendaciones, además de aplicarse evidentemente a todos y cada uno de los molinos eólicos, deberán ser extensivas a equipamiento complementario, como las líneas de transmisión de energía (*ya sea media o alta tensión*), la estación transformadora y todos los sistemas de monitoreo, control y comunicaciones.



El análisis ambiental que se realice para todo proyecto eólico permitirá concluir que no existan conflictos ambientales relevantes que impidan la ejecución de la obra o que requieran de cambios importantes en su planteo.

Por este motivo, el listado de procedimientos indicados como medidas de protección ambiental es necesario y se circunscribe al conjunto de situaciones detectadas como relevantes y más comunes vinculadas a este tipo de obras.

De acuerdo a Cavanna (2008), es necesario destacar que un plan de gestión ambiental no puede en sí mismo contemplar todas las situaciones posibles de eventual conflicto ambiental vinculado a la obra. Por ello, el éxito de la gestión ambiental y la consecuente minimización de conflictos deviene de una correcta planificación y ejecución de los trabajos, del estricto control de los contratistas y de una fluida comunicación con las autoridades de control y los propietarios de campos, así como la existencia de un sistema de gestión ambiental que permita tratar los conflictos que pudieran ocurrir utilizando los correctos mecanismos de comunicación, cumplimiento legal y normativo, monitoreo y control operativo.

Las pautas principales de un plan de acción y gestión ambiental, son las siguientes:

Durante la fase de construcción del parque eólico, han de tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Minimizar las emisiones contaminantes atmosféricas mediante la vigilancia estricta del trasiego de maquinaria y el movimiento de tierras necesarios en la realización de las obras civiles.
- Analizar la incidencia sobre los cauces fluviales debido a posibles arrastres de materiales acumulados durante la fase de obras, por las emisiones de la maquinaria operante o por una deficiente planificación y ejecución del trazado de accesos, zanjas u otras construcciones, interrumpiendo el curso natural.
- En la elección del emplazamiento del parque deben quedar excluidas aquellas zonas con elevadas pendientes y los terrenos inestables, por no presentar las mejores condiciones tanto desde el punto de vista ambiental (*por la alta vulnerabilidad del suelo*) como técnico (*probabilidad de deslizamiento de las obras civiles y equipos*).
- Evitar la eliminación de la cobertura vegetal (*despeje y desbroce*), que frena la erosión del suelo, para la realización de los viales y zanjas. Las medidas a adoptar para minimizar esta afección consisten en la re vegetación de las zonas que han quedado desnudas.
- Para minimizar el impacto sobre la vegetación, deben realizarse estudios sobre pluviometría, hidrología y orografía del terreno, a fin de evitar en la medida de lo posible la modificación del perfil natural del terreno debido a las construcciones necesarias. tales



como accesos a las instalaciones, cimentaciones de los aerogeneradores, edificaciones anexas, como los centros de control y subestaciones eléctricas, entre otros.

- Vigilar y planear el tránsito de maquinaria y otras tareas de construcción a fin de evitar el desplazamiento y eliminación de la fauna existente.
- Evitar el tráfico excesivo de vehículos y de maquinaria pesada a fin de minimizar las molestias sobre las poblaciones humanas más próximas
- Gestionar adecuadamente los proyectos eólicos a fin de evitar afecciones sobre el patrimonio cultural, histórico y arqueológico de la zona, si es que existe.

Durante la fase de operación del parque eólico, han de tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Impacto paisajístico: sin tomar en consideración los obstáculos visuales como orografía, vegetación, infraestructuras de carácter antrópico o factores climáticos, etc., deberán realizarse estudios que consideren:
 - Densidad de los equipos eólicos. Lo anterior debido a que ellos influyen en otros aspectos de ocupación superficial. Tal es el caso de los caminos necesarios para la interconexión entre generadores o la subestación eléctrica.
 - Arquitectura del parque eólico. La distribución geométrica de los aerogeneradores debe tomar en cuenta básicamente dos variables: clinometría (medida de ángulos) del terreno en que se emplaza el parque y complejidad de disposición de las turbinas que lo integran.
 - Tamaño del aerogenerador. Cuidar la proporción entre las dimensiones de la torre y el rotor.
 - Diseño del aerogenerador. Debido a que a intrusión de cualquier elemento artificial en un entorno natural provoca una alteración paisajística, deberá ponerse especial atención al mimetismo de la estructura que se desee instalar.
 - Velocidad de rotación. Otro efecto a tener en cuenta a la hora de valorar el impacto visual es el grado de dinamismo del elemento observado. Un aerogenerador moviendo sus palas de una forma más lenta puede ser calificado de menos agresivo.
 - Efecto sombra. La sombra que proyectan las elevadas estructuras de un parque eólico es motivo de afección para las poblaciones cercanas, ya que las palas del rotor cortan la luz solar de manera intermitente cuando éste se encuentra en movimiento. La recomendación es cuidar , nuevamente, la configuración total del



parque a fin de formar diagonales separadas por una distancia tal que se minimice el efecto de las sombras

- Reflexión solar. El reflejo y los destellos que produce un aerogenerador se deben a la incidencia de la luz solar sobre las aspas del rotor. El color del rotor y la distancia del mismo a los asentamientos urbanos o a enclaves patrimoniales son las variables más importantes en la consideración de este impacto.
- Ruido. Existen dos principales tipos de ruido emitidos por las turbinas de viento: el aerodinámico, (*ocasionado por el pasaje del aire a través de las aspas*), y el mecánico (*proveniente de todas las otras partes que se mueven; la mayoría de las quejas sobre el ruido generado por las turbinas eólicas se deben al ruido mecánico*). En muchos casos, estos ruidos pueden ser minimizados mediante la puesta en práctica de medidas retroactivas.

A fin de evitar el ruido como impacto negativo sobre el ambiente, han de tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones (*Serrano, 2011*):

- Los aerogeneradores deben estar emplazados a una distancia segura de los asentamientos humanos.
- Las turbinas deben ser diseñadas, manufacturadas y montadas, teniendo en cuenta criterios de minimización del ruido.
- Los niveles de ruido deben ser medidos y regulados de forma periódica. Han de servir, como un respaldo sólido, legislaciones locales, federales y ambientales a fin de controlar y poner límites alcanzables a estos niveles de ruido.

Para garantizar la seguridad y protección a la salud ambiental y a la calidad de vida, han de tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Alejar a las comunidades adyacentes al complejo eólico para garantizar que los campos electromagnéticos asociados a un parque eólico de generación de electricidad no tengan efectos negativos sobre los seres vivos tales como: efectos biológicos sobre el sistema nervioso, cambios en los ritmos biológicos, cáncer, genotoxicidad, entre otros (*Llanos y Represa, 2001*).
- Vigilar el correcto emplazamiento de aerogeneradores para evitar la generación de zonas oscuras que perjudiquen a los sistemas de comunicación, TV y radio.
- Proyectar un sistema de protección (*paro inmediato*) en los aerogeneradores para evitar desprendimiento de piezas debido a:



- La presencia de vientos mayores a la velocidad de salida
- Velocidad de rotación superior al máximo aceptable
- Exceso de vibraciones
- Proyectar un sistema de protección contra incendios en los aerogeneradores integrado por:
 - Protección contra descargas atmosféricas
 - Estudios de coordinación de protecciones y corto circuito

Para garantizar la seguridad y protección a la fauna (*y tomando como premisa que las aves constituyen la fauna que más intensamente se ve afectada*), han de tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones con base en experiencias y análisis realizados en su oportunidad por la central eólica Gastre (2012):

- En la medida de lo posible, maximizar el espacio entre las turbinas eólicas a efectos de permitir el paso de la fauna voladora entre ellos.
- Situar las turbinas de forma que no afecten importantes corredores de fauna.
- Utilizar soportes tubulares sin cables sostén. En caso de utilizar cables sostén hacerlos visibles (*marcarlos*) mediante estructuras disuasorias para las aves.
- Evitar la apertura de caminos de acceso y minimizar el tendido de líneas de transmisión.
- Evitar el uso de escaleras externas y plataformas en las torres para minimizar la construcción de nidos y la utilización de estas estructuras de tipo perchas por las aves.
- Para los períodos de niebla, resaltar las puntas de palas de las turbinas eólicas con pintura roja para evitar colisiones de aves.
- Optar por el uso de cableado subterráneo para la interconexión de las turbinas eólicas para minimizar el riesgo de utilización de líneas aéreas por las aves.
- Cuando sea inevitable el uso de líneas aéreas, utilizar conductores aislados.
- Las luminarias deben ser las estrictamente necesarias para la operación. Deben ser intermitentes, repelentes de insectos y se deben orientar a 45° de la horizontal hacia el suelo
- Minimizar el tiempo de encendido de las luminarias y sincronizarlas.



- Colocar el equipo de comunicación sobre una de las torres o construir una torre para tal efecto. Evitar que la torre de comunicaciones tenga cables que favorezcan la pose de aves o colocar la torre lejos de las turbinas eólicas.

Para garantizar la seguridad y protección a la flora, y tomando como base las recomendaciones de la central eólica El Arrayán (2009), han de tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Analizar la fertilidad de los suelos.
- Para propiciar la colonización de especies herbáceas y arbustivas, las áreas planeadas para plantación serán excluidas al ingreso de personas extrañas al proyecto y de ganado por medio de cercos. La circulación se restringirá exclusivamente a los caminos internos del proyecto.
- Propiciar el control natural de plagas al evitar el uso de pesticidas.
- Realizar periódicamente una evaluación del estado sanitario y de vigor de la flora existente.
- Realizar un registro de pérdidas o daños a la vegetación a fin de generar programas de protección y reposición en caso de ser necesario.
- Analizar las causas de pérdida o daño, a partir de las cuales se propondrán medidas correctivas para ser aplicadas con la consecuente revisión del éxito de estas medidas.

Es fundamental conocer, además del potencial eólico:

- Las características medioambientales y del viento en el emplazamiento seleccionado
- Las particularidades de la red eléctrica en el punto de entronque e interconexión (*distancias y trayectorias*)
- La superficie de terreno disponible

En todo momento deberá priorizarse el uso eficiente de energías renovables no contaminantes además de analizar simultáneamente y a detalle todas las consecuencias de los diferentes impactos que sobre el medio ambiente pueden llegar a producir dichas tecnologías. Punto y aparte de buscar la mejor forma de minimizar cualquier impacto negativo que se presente.



5. Evaluar las posibilidades de explotar el potencial eólico en mar mediante el estudio de casos de éxito.

Con base en la información proporcionada por la empresa Geomex (2012), la tendencia marca que los proyectos eólicos offshore serán la punta de lanza en el futuro a nivel mundial. Aquí en México estamos lejos de eso porque primero se tiene que explotar todo el territorio del país (*modalidad onshore*), para posteriormente proceder a la tecnología offshore. Lo anterior se debe a que, por el momento, la construcción y operación de generadores offshore resultan mucho más caras que sus equivalentes en tierra firme.

Las empresas establecidas en México, ya sean nacionales o extranjeras, por el momento no se encuentran enfocadas al uso y difusión de la tecnología offshore ya que lo ven a muy largo plazo (*del orden de los 20 años*).

Sin embargo, de acuerdo a Riquelme (2010), la utilización de la energía eólica offshore debe ser considerada como medio de diversificación de la matriz energética con base en energía renovable. No olvidemos que la actual dependencia energética mexicana hacia los recursos fósiles deberá fomentar, a corto plazo, la realización de estudios de factibilidad técnica y económica para impulsar proyectos para generar energía a partir de recursos renovables.

Como sabemos, el punto crítico en la evaluación de parques eólicos es la estimación del potencial del recurso, el cual podrá obtenerse mediante mapas preliminares de distribución de energía eólica sobre los océanos.

Dependiendo de los resultados que pueda arrojar la evaluación, se procederá a determinar qué grado de participación puede tener la generación de energía a partir del recurso eólico marino. No puede descartarse el recurso eólico marino debido a las características propias que posee (*Capítulo 3: Breve análisis del consumo de energía a nivel mundial*), y que pueden resultar determinantes en la matriz energética del país.

De acuerdo a De Eguren (2012), la energía eólica offshore es una energía en fase de desarrollo con un potencial muy amplio. Esto se debe a que su instalación tiene un potencial enorme y hay países que, viendo en ella una energía del futuro, han desarrollado más ésta energía que cualquier otra.

En cuanto a México, el país no cuenta con ningún parque eólico marino debido a que, por un lado, no existen ni mediciones ni estimaciones del potencial eólico marino en las costas mexicanas. Por otro lado, tenemos que son numerosos los retos tecnológicos que aparecen ante la colocación de estas estructuras. Aun con todo esto, si se realiza el análisis de potencial eólico marino en México, pueden encontrarse beneficios directos al sistema energético del país tales como el aporte de electricidad a la red eléctrica nacional y la reducción de emisiones contaminantes al reducir el uso de combustibles fósiles.



Un análisis a conciencia puede dar una muestra clara del potencial por explotar además de proporcionar datos valiosos en materia del impacto ambiental que podría causar la instalación de dichos parques en las costas mexicanas. En el mejor de los escenarios, la energía eólica marina podría ser benéfica para la red eléctrica nacional y no sería dañina para los ecosistemas de las costas mexicanas.

Para tener certeza del potencial eólico marino con posibilidades de explotación, han de tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Realizar una serie de mediciones mediante la instalación de una torre meteorológica a una altura similar a la cual se coloca un aerogenerador offshore (*entre 80 y 120 m de altura s.n.m.*).
- Sintetizar los datos obtenidos para determinar si una zona es o no viable en cuanto a su potencial energético. Los datos, además de lo anterior, determinarán otras cuestiones fundamentales del parque como lo es la disposición de los aerogeneradores.
- Determinar la distancia que existe entre el posible punto de potencial eólico y la costa. Este punto determinará en gran medida dos aspectos fundamentales del parque:
 - Impacto visual
 - Costos de instalación que debe incluir, entre ellos:
 - Longitud y sección transversal de conductores eléctricos submarinos.
 - Ubicación final de la subestación transformadora (*puede quedar instalada en el mar junto a los aerogeneradores o bien, en tierra firme*).
- Analizar la profundidad de la zona. Actualmente la tecnología offshore se considera económicamente viable hasta profundidades de 40-50 m (*Esteban, 2009*). Es el límite donde puede llegar la tecnología fija y donde comenzaría a ser factible la flotante. Sin embargo ésta última está aún en fases tempranas de implementación aunque se prevé que a medio plazo será la solución óptima que combine aprovechamiento energético con sostenibilidad ambiental.
- Disposición de los aerogeneradores. Para realizar una correcta distribución en planta, en el emplazamiento considerado se deben tener en cuenta varios factores como son:
 - Definición del tipo de aerogeneradores
 - Número de aerogeneradores
 - Distancia mínima entre máquinas
 - Efecto estela
 - Impacto visual



- Dirección e intensidad predominante del viento. Rosa de frecuencias y de velocidades
- Al igual que como ocurre con parques eólicos en tierra (*onshore*), se deben de tomar en cuenta algunos puntos muy importantes para dimensionar el posible impacto que un grupo de aerogeneradores puede tener sobre el ecosistema de la zona:
 - Los rotores de las turbinas afectarán la alimentación y la migración de los pájaros debido a las perturbaciones que producirán.
 - Los cimientos afectarán a la comunidad bentónica. También influirán en la hidrológica y la sedimentación, con la consecuencia de que se cambiará la composición de las comunidades bentónicas.
 - Los campos magnéticos y eléctricos artificiales generados por las conexiones de los cables afectarán la orientación de las especies de peces y mamíferos marinos.
 - Las perturbaciones adicionales podrían ser el ruido y las vibraciones de los rotores sobre la superficie del mar, además de las derivadas del cambio de posición de los rotores.
 - Los molinos con una estructura vertical de 135 m de altura y los rotores móviles de 110 m de diámetro, tendrán un impacto importante en la vista natural de los paisajes marinos con su estructura horizontal predominante.
 - La construcción de los parques pueden disturbar la fauna del mar, incluido los vertidos que puede causar el cambio del hábitat.
 - Además, debido al tamaño que tendrán estas granjas de energía eólica, aumentará el peligro frente a las colisiones navieras.

Los problemas presentados tienen que ver con los rotores, las torres, los pilares, las conexiones eléctricas, las actividades frente a la construcción del parque, los impactos frente a la fauna y la flora, las corrientes, la erosión costera, etc. Todos estos puntos engloban un complejo impacto de elementos individuales que se deberán tener en cuenta frente al ecosistema marino para evaluar estos parques.

La energía eólica marina puede llegar a ser muy rentable al tratarse de un recurso para la producción de energía totalmente gratuito. En cuanto al impacto ambiental, la primera fase (*la de instalación*), es aquella que podría representar mayores repercusiones pero no sería nada en comparación con el impacto ambiental causado por otras instalaciones para la producción de energía. Tal es el caso, por ejemplo, de las centrales carboeléctricas.



Pese a que en un principio la instalación de parques eólicos offshore representan una inversión más alta que otras energías, puede representar una alternativa segura, rentable y sana para los ecosistemas mexicanos siempre y cuando se ponga especial atención al cuidado del medio ambiente.

6. Crear y fortalecer una cadena de valor en cuanto al uso, promoción y desarrollo de tecnología eólica.

En la mayoría de los proyectos eólicos en México, las ganancias de los mismos, se van directo al país de origen de la inversión o, en el mejor de los casos, se quedan en manos de un sector exclusivo mexicano sin contribuir al mejoramiento de la comunidad (*Castillo, 2011*).

Los proyectos eólicos benefician al capital extranjero porque México paga por las patentes, licencias, conocimientos técnicos y servicios financieros. Esto se debe a que la tecnología utilizada en casi todas las centrales eólicas, en especial las turbinas eólicas, son propiedad de corporaciones transnacionales. Esto ilustra y deja claro la gran carencia que se tiene de un plan nacional en investigación y desarrollo de tecnologías eólicas además de recursos humanos necesarios para promover y hacer crecer dicha investigación y desarrollo. México es un importador de turbinas eólicas, en particular de empresas españolas, y no cuenta con apoyo de dichas empresas para generar conocimiento útil que sienta las bases de una cadena de valor en la industria eólica mexicana

La penetración de la inversión extranjera en el sector eléctrico se ha realizado a través de una política económica de corte neoliberal que promueve estrategias de privatización y desregulación, bajo el supuesto de que la intervención y gestión de la empresa privada es más eficiente, productiva y competitiva que la efectuada por una empresa pública.

Hoy en día, el capital privado se ha introducido en las actividades del sector eléctrico que antes controlaba de forma exclusiva el Estado. Dicha entrada se ha logrado a través de figuras jurídicas como el autoabastecimiento y la producción independiente, definidas como servicio no público de energía eléctrica. Esas figuras jurídicas le permiten al capital privado dos cosas: por un lado, aumentar la capacidad de generación de energía eléctrica y; por otro lado, obliga a la CFE a comprar la energía producida por capitales privados. Para el caso puntual de la energía eólica (*que de hecho pasa con cualquier fuente de energía renovable*), lo anteriormente descrito ocurre sin que exista obligación para los particulares de promover investigación, desarrollo y capacitación.

El desarrollo científico-tecnológico en materia de energías renovables implica la búsqueda, valorización y revalorización de territorios donde existan recursos energéticos renovables en cantidades susceptibles de ser aprovechados a escala comercial. De esta forma, el elevado potencial eólico del país debe revalorizar el carácter estratégico de una fuente de energía limpia y sobradamente demostrada como opción sólida ante un futuro en el cual, invariablemente, los combustibles de origen fósil van a ser escasos.



De acuerdo a Garralda (2013), una cadena de valor es un conjunto de actividades que lleva a cabo una empresa para diseñar, producir, llevar al mercado y entregar sus productos hasta el cliente final. Cada actividad de valor emplea insumos, recursos humanos y algún tipo de tecnología para desempeñar su función, además de que crea y utiliza información (*datos del comprador, parámetros de desempeño de alguna maquinaria, estadísticas de fallas en el producto final, etc.*).

Las actividades de valor se pueden dividir en dos grandes tipos:

- **Actividades primarias:** que son aquellas actividades implicadas en la producción del producto, la venta (*marketing*) o entrega al comprador final y la asistencia posterior a la venta.
- **Actividades secundarios o de apoyo:** que son aquellas actividades que dan soporte a las actividades primarias y se apoyan entre sí, proporcionando insumos, tecnología, recursos humanos y varias funciones dentro de la empresa.

Actividades primarias dentro del rubro de la eolo electricidad

La fabricación de los aerogeneradores; el diseño previo; el desarrollo y acondicionamiento de la zona geográfica; el análisis financiero; la construcción, trámites y gestión del proyecto y la operación y mantenimiento se encuentran definidos en las actividades primarias.

Es importante señalar que en México se debe promover y desarrollar los elementos principales para la estructura de soporte del aerogenerador como **primera etapa**. A la vez, debe desarrollarse un vínculo entre las industrias del acero y concreto para que desde el inicio pueda aplicarse una estrategia de participación activa en el desarrollo de las mencionadas industrias para abastecer los requerimientos de materiales, soportada por un marco político legal en los contratos efectuados.

Como **segunda etapa**, se debe empezar a desarrollar el mantenimiento propio de los equipos y generar un departamento de investigación y desarrollo que permita obtener materiales alternativos y novedosos para partes y demás componentes de los aerogeneradores. México deberá preparar la infraestructura para poder instalar equipamiento eólico de gran envergadura. La industria eólica en México aún es muy joven y, por lo tanto, requiere de una promoción específica que sea considerada dentro de un proyecto integral.

De acuerdo a la Asociación Empresarial Eólica (2008), el 70% de la inversión en un proyecto eólico radica principalmente en el coste del aerogenerador. Si bien es cierto que México cuenta con el potencial natural para su desarrollo, aún no se ha desarrollado la tecnología para: a) la fabricación de los componentes de un aerogenerador; b) la gestión de operación de parques eólicos; y c) la inclusión en la matriz energética actual. No es una sorpresa saber que en México se han venido empleando aerogeneradores totalmente diseñados, probados y colocados por personal extranjero.



Como una **tercera etapa** (y a manera de complemento al punto anterior) tenemos que, hasta la fecha, el montaje, la operación y los servicios de mantenimiento de parques eólicos en México han sido realizados bajo la dirección de ingenieros extranjeros (que en la mayoría de los casos son españoles) por parte de los inversionistas o los fabricantes del equipo (Colegio de Ingenieros Mecánicos, Electricistas y Profesiones Afines de León, A.C.; 2013).

Cabe destacar que al momento no existen colegiados en las diferentes áreas de la Ingeniería Mecánica Eléctrica que se estén preparando para cubrir dichas tareas de montaje, operación y mantenimiento. Al profundizar en el problema, se puede encontrar que, al revisar los planes curriculares de las instituciones de enseñanza que están próximas a las regiones donde se encuentran complejos eólicos, en ninguno de estos planes se incluye algo relacionado con la ingeniería de unidades eólicas. Evidentemente nos encontramos con un vacío importante que deberá ser cubierto para garantizar la creación y promoción de recursos humanos mexicanos para desarrollo y promoción, no sólo de generadores de energía eólica, sino de todo el paquete de energías renovables.

El desarrollo tecnológico en México es pobre y está en función de las capacidades técnicas del personal. Esto representa actualmente uno de los principales problemas que se debe analizar y combatir.

Dentro de la logística de salida (*distribución del producto final*), México deberá prepararse para conseguir que la energía producida a partir del recurso eólico sea transportada hacia la red pública, pues aún no existe una infraestructura adecuada que permita controlar en forma eficiente la incorporación de la energía eléctrica proveniente de parques eólicos a la matriz eléctrica nacional.

En el área de marketing y ventas, las actividades asociadas a conseguir compradores e inversionistas que utilicen la energía eólica, estarán definidas principalmente por el marco legal y de incentivo tributario para la utilización de esta energía respecto a las convencionales.

Actividades secundarias o de apoyo

Dentro de la administración de los recursos humanos, de las compras de bienes y servicios, del desarrollo tecnológico y de la infraestructura empresarial, deberá prevalecer el desarrollo tecnológico que permita posicionarse en forma privilegiada dentro de la cadena de valor. Cabe señalar que los países europeos están liderando el desarrollo tecnológico en el campo de la generación eólica y en la actualidad están preparando simuladores virtuales de parques eólicos con aproximaciones a la realidad hasta del 45%. Lo anterior les permitirá, en un futuro no muy lejano, una mejora sustancial en los diseños de los aerogeneradores al obtener eficiencias más altas en cuanto a conversión energética se refiere.

Por lo anteriormente expuesto, podemos concluir que, pese a que México cuenta con un importante rezago tecnológico, es posible superarlo mediante la aportación de una mayor cantidad de recursos económicos nacionales destinados a la generación y promoción tanto de recursos



humanos como de proyectos orientados a la investigación en el tema del aprovechamiento de la energía eólica. Lo anterior podrá ser traducido en una importante producción de ideas e información que servirán como soporte técnico de iniciativas de mejora al marco legal y regulador.

Tanto el sector público como el sector privado deberán estar preparados para afrontar el reto de emprender el desarrollo eolo eléctrico en México. Lo anterior será posible mediante el incremento y consolidación de la vinculación entre ambos sectores. La comunicación continua sobre el tema propiciará un mejor entendimiento entre ambos sectores con respecto a las oportunidades y limitaciones de cada uno de ellos, de tal manera que se tendrán mayores posibilidades de lograr consensos sobre las iniciativas de fomento y apoyo a la generación eolo eléctrica.

Para crear y fortalecer una cadena de valor en cuanto al uso, promoción y desarrollo de tecnología eólica, se consideran las siguientes líneas de acción:

Investigación y desarrollo

- Promover la formación de recursos humanos especializados con alto grado de conocimientos y que dominen ampliamente los temas de vanguardia de la tecnología eolo eléctrica. La promoción de dichos recursos humanos se hará tomando en cuenta diversas ramas de la ingeniería tales como: Ingeniería aerodinámica y mecánica; ingeniería electrónica de control y potencia; ingeniería electrotecnica y electromagnetismo; ingeniería civil; ingeniería para estudio atmosférico, climático y ambiental.

Como una primera etapa, el objetivo será contar con recursos humanos para la operación y mantenimiento de centrales eolo eléctricas.

Como una segunda etapa, el objetivo será contar con recursos humanos capacitados y especializados en la generación de conocimientos para el aprovechamiento de la energía eólica. Para ello se precisa:

- Analizar y definir la cantidad y nivel de recursos humanos que se requieren para el aprovechamiento de la energía eólica.
- Elaborar planes de estudio para definir perfiles de ingreso y egreso.
- Elaborar mapas curriculares de cada nivel académico (técnico, *licenciatura*, *maestría* y *doctorado*) para promover la actualización profesional, el desarrollo energético sustentable y el ahorro y el uso eficiente de la energía.
- Preparar, coordinar y actualizar al personal que labore en plantas de energía eólica para desarrollar sus capacidades.



- Desarrollar infraestructura para educación y entrenamiento (*espacios de trabajo y aulas, redes de comunicación, laboratorios*), a fin de proporcionar las herramientas necesarias para aprendizaje, investigación, desarrollo e innovación.
- Los centros de investigación y educativos deberán contar con los conocimientos de la tecnología actual además de tener presentes las tendencias futuras.
- Incentivar a las empresas nacionales, a las instituciones educativas y a los centros de investigación mexicanos a entrar de lleno al reto tecnológico que implica el desarrollo de la generación eolo eléctrica debido a que aún no se cuenta con tecnología propia. Lo anterior permitirá el diseño y fabricación de componentes de aerogeneradores y realizar, posterior y sistemáticamente, la integración completa de aerogeneradores nacionales con la magnitud de potencia requerida para construir centrales eolo eléctricas completas y capaces de generar una cantidad de energía considerable.
 - Tomando como base los casos de éxito de Alemania, China y Estados Unidos, México deberá promover la transferencia tecnológica con especial énfasis en tres características fundamentales de la industria eólica:
 - *Materiales (generación de nuevos productos para la industria eólica que resulten más livianos, más resistentes y más baratos).*
 - *Diseño (adquisición de programas y simuladores virtuales; métodos de cálculo de rotores, aspas, torres, etc.).*
 - *Capacidades tecnológicas (para generación de nuevos conocimientos; para adquirir experiencia en el manejo de nuevas tecnologías, para poder usar y transferir la tecnología asimilada para favorecer la entrada a nuevos mercados).*
 - A fin de incentivar la innovación al interior de las empresas, las instituciones educativas y los centros de investigación mexicanos, se sugiere poner énfasis en los siguientes factores que, de acuerdo a la información encontrada en la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (*USPTO*) y la Oficina Europea de Patentes (*EPO*), son los más predominantes en la actualidad:
 - **Métodos de producción:** en general se refiere a nuevas formas de construir las torres, hélices o generadores, es decir que se haya llegado a un nuevo modo de producción por alguna innovación llevada a cabo en maquinaria o materiales.



- Métodos de instalación: se refiere a la forma en que son levantadas las torres e instaladas las piezas del aerogenerador y hélices.
- Materiales: se refiere al desarrollo de nuevos materiales para cualquier parte de la torre, aerogenerador o hélices.
- Nuevos modelos: se refiere a aquellas modificaciones que se hayan realizado a los aerogeneradores existentes o que en su totalidad se hayan modificado.
- Accesorios: aquellas nuevas piezas que se crean para el mejor desempeño de los aerogeneradores.

Construcción de parques eólicos

- Con la información que pueda desprenderse de un correcto y profundo análisis del potencial eólico del país, se formularán y se promoverán proyectos eolo eléctricos de diferentes capacidades de generación de energía. Dichos proyectos deberán considerar centrales eolo eléctricas para producción de energía eléctrica destinada: a) al servicio público (*Comisión Federal de Electricidad*), b) al autoabastecimiento de alumbrado público municipal en regiones aisladas y lejanas, c) al autoabastecimiento industrial y d) a la exportación de electricidad.

Las pautas básicas para la construcción de un parque eólico son las siguientes (*Esteban, 2009*):

- Estudio técnico del viento
 - Evaluación del potencial energético del parque eólico
 - Evaluación y elección del aerogenerador
 - Instalación eléctrica
 - Estudio económico y financiero de la inversión
 - Determinación real de la producción anual del parque eólico
-
- El desarrollo eolo eléctrico del país requerirá de una estrategia que contemple la planeación sistematizada y la realización de obras de infraestructura para transmisión de electricidad que vayan permitiendo la integración de la generación eolo eléctrica al sistema eléctrico nacional, de manera racional pero significativa.

Generación, venta y promoción de la energía

- Realizar una amplia difusión de información acerca de los beneficios potenciales de la generación de energía a partir del viento además de proporcionar datos sobre su potencial



aplicación en los diversos nichos de oportunidad y modalidades. Es indispensable que dicha difusión masiva incluya información verídica sobre el impacto ambiental de dicha actividad y las posibilidades realistas en materia de integración al sistema eléctrico nacional. Lo anterior es debido a que, pese a que se tiene conocimiento general de la tecnología eolo eléctrica y de las implicaciones de su aplicación, dicho conocimiento está limitado únicamente a ciertos sectores en los ámbitos de algunas instituciones públicas, académicas y empresas privadas.

- Promover a las energías renovables (*eólica, solar, etc.*) como elementos claves tanto por razones medioambientales como económicas. Este tipo de energía renovable contribuirá a conseguir los objetivos establecidos por el Protocolo de Kioto además de que permitirá la obtención de diversas ventajas socio-económicas, tales como la diversificación de la oferta de energía, la mejora de oportunidades de desarrollo regional y local, la creación de una industria doméstica y la creación de empleo (*Moreno y López, 2008*).

Consideraciones finales del plan

A manera de conclusión, se ha de señalar que la presente investigación se ha realizado con el propósito de que sirva como insumo para el desarrollo del plan prospectivo de acción o ruta tecnológica de la generación de energía eléctrica a partir del recurso eólico en México.

Para llevar a cabo el plan prospectivo de acción, se considera oportuno realizar reuniones en las que participen organismos e instituciones clave, incluyendo aquellos que no hayan participado de manera activa en el rubro de las energías renovables. Además de lo anterior, se considera importante que en dichas reuniones se incluyan funcionarios con poder de decisión.

Para la correcta aplicación, vigilancia y seguimiento del plan de acción, se considera fundamental la participación activa de los siguientes actores:

Entidades de Gobierno

- Secretaría de Energía (*SENER*)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (*SEMARNAT*)
- Secretaría de Economía (*SE*)
- Comisión Federal de Electricidad (*CFE*)
- Secretaría de Educación Pública (*SEP*)

Universidades e instituciones de educación superior (Se toma como base inicial a aquellas instituciones donde existe enseñanza de ingeniería)

Centros de investigación

- Instituto de Investigaciones Eléctricas
- Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
- Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico



- Instituto Tecnológico de Mérida
- Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C.
- Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.
- Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.
- Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.
- Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C.
- Centro de Investigación en Química Aplicada

Organismos no gubernamentales

- Asociación Mexicana de Energía Eólica (*AMDEE*)
- Instituto de Ecología, A.C.
- Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial
- Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S. C.
- Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. De C.V.
- Fondo de Información y Documentación para la Industria

Las etapas propuestas se enfocarán al logro de la visión bajo un proyecto compartido por todos los involucrados.

En proyectos de gran envergadura como éste, mientras más se consoliden en el tema todos los involucrados, el plan irá evolucionando hacia modelos de colaboración más sólidos y de mayor alcance. El logro de una visión como la plasmada en el presente plan prospectivo requiere que se desarrolle con continuidad y amplia perseverancia. En el ámbito del sector público, las situaciones políticas pueden ocasionar contratiempos y, por ello, es importante lograr que los elementos que integren el plan de acción queden establecidos en los programas y planes estratégicos de las instituciones involucradas.

Tan importante como tener un objetivo y un plan de acción o ruta tecnológica, lo es la capacidad de los involucrados para responder a los requerimientos que esto significa. Esto se traduce en necesidades (*recursos humanos y económicos*) que todas las organizaciones involucradas requerirán para desarrollar sus actividades. De ahí la importancia de que se logre establecer un compromiso al más alto nivel con cada uno de los involucrados.



CONCLUSIONES

El objetivo principal de la presente investigación fue la realización de un plan prospectivo para el desarrollo e implementación de tecnología eólica en México. Con base en el análisis realizado a lo largo de los capítulos, se concluye lo siguiente:

El uso de energías renovables y en especial de la energía eólica constituye una herramienta eficaz para la solución de muchos de los problemas energéticos que vive el país con el valor agregado del beneficio ambiental. La existencia de drásticos cambios climáticos globales y regionales como producto del calentamiento global, los residuos radioactivos, las lluvias ácidas, la contaminación atmosférica, el deshielo de los eternos glaciares, etc., fortalecen la investigación y explotación de un tipo de energía limpia, eficiente y competitiva. Es prioritario investigar los elementos clave del sector energético global y sus tendencias, relacionados éstos con la generación de energías renovables y específicamente la energía eólica. Para lograr un desarrollo sostenible de la energía eólica, ésta debe encontrarse dirigida a regiones que presenten condiciones geográficas favorables para el desarrollo e implementación del recurso eólico.

La situación actual de la energía eólica a nivel mundial muestra, en primer término, el fuerte compromiso de los países líderes en el desarrollo de esta alternativa energética renovable. El común denominador se centra en la definición de estrategias concretas a mediano y largo plazo dentro de sus matrices energéticas a nivel país y como bloques de países (*como el caso de Europa*).

La energía eólica es considerada el recurso energético limpio por excelencia del futuro mundial. Sobresale el espectacular crecimiento tecnológico en el diseño de aerogeneradores, transporte, control energético e ingreso a las subestaciones de alta tensión eléctricas que pertenecen a la red. También el desarrollo de simuladores y su aplicación en parques eólicos onshore y offshore para satisfacer el requerimiento de millones de personas en el mundo. La energía eólica es la fuente de energía que está creciendo más rápidamente en el mundo con tasas alrededor de 20% anual, hasta el punto de empezar a convertirse en el referente para un futuro basado en una energía limpia y sostenible.

Los mecanismos de política energética utilizados por países europeos como Alemania han probado ser extremadamente acertados, atrayendo a una gran cantidad de pequeños y grandes inversionistas y dando por resultado un crecimiento anual de dos dígitos desde la década de los años 90. Existen además importantes entidades internacionales reconocidas globalmente que promueven e incentivan las políticas para el uso de energías renovables y en especial la eólica.

Dentro de la cadena de valor de la industria eólica juega un papel preponderante el desarrollo tecnológico para el diseño y fabricación de los aerogeneradores, los cuales representan un alto porcentaje de los costos de inversión dentro de las actividades primarias.



Para el caso concreto de México, las principales barreras para el desarrollo tecnológico de la energía eólica la constituyen:

- la falta de un marco legal y normativo sólido
- la inexistencia de institucionalidad orientada a incentivar la actividad en este campo
- las políticas gubernamentales imprecisas y poco específicas
- la pobre Información y documentación diseminada
- los registros poco confiables de recursos energéticos renovables
- la inexistente población profesional con las competencias necesarias para el desarrollo en el campo
- la poca promoción de éstas tecnologías en la población

A diferencia de lo que pasa en México, la industria eólica en el mundo avanza a pasos agigantados gracias a la inversión en I+D, a la promoción y a la difusión de políticas públicas que permiten a las comunidades adoptar el cambio tecnológico en beneficio propio.

Por otra parte, es de particular importancia que México apresure la creación de una norma legal específica para las energías renovables, y en especial la eólica, que permita al mercado desarrollarse en un entorno de promoción y de despacho preferencial.

La rentabilidad de los proyectos utilizando la energía eólica, ya sea en mediana o gran escala, se verá reflejada en cuanto el Estado reglamente los incentivos, el sistema tarifario de las energías renovables no convencionales y los beneficios a los operadores que quieran invertir. Además de lo anterior, se debe considerar ingresos o beneficio por venta de reducción de emisiones de CO₂ evitados.

Es fundamental la promoción y realización de proyectos energéticos sostenibles en el campo de la energía eólica sobre la base de: a) el acceso a fuentes de financiamiento regionales, internacionales y privados; b) la ampliación de la base tecnológica, incorporando en forma estructural las energías renovables dentro de la matriz energética; y c) la gestión de la demanda orientada a identificar, canalizar, concertar y priorizar las demandas de energía en un contexto de amplia participación de los involucrados.

México cuenta con un importante potencial eólico aún sin determinar con exactitud. Esto se debe a que la situación energética eólica en México es aún incipiente con respecto a los líderes del subsector. La información referente a energía eólica se encuentra pobremente diseminada por todo el territorio nacional. Su recopilación, validación y sistematización resultará un esfuerzo necesario para llegar a constituir este tipo de recurso en uno de carácter sustentable. El establecimiento de alianzas estratégicas tecnológicas y productivas entre el Estado y empresas expertas en el ramo permitirán incentivar, potenciar y promover el desarrollo y aplicación de energía renovables en nuestro país. Estas alianzas estratégicas pueden materializarse a través de acuerdos contractuales y acuerdos de integración de capital. Dentro de estos últimos preferentemente bajo la forma de empresa conjunta o joint venture.



Existen los recursos naturales aptos y en abundancia para la explotación masiva de la tecnología eolo eléctrica en México. Lo anterior se demuestra en las zonas que actualmente han sido estudiadas de forma no oficial y que abarcan las costas del Pacífico desde Baja California hasta Chiapas a excepción de Sonora, Sinaloa y Colima. Esos estudios indican que se cuenta con recurso eólico, aunque, al parecer, es de baja potencia. Pese a lo anterior, de estas regiones las únicas que se han comenzado a explotar en muy baja proporción son Baja California (*La Rumorosa y Guerrero Negro*) y Oaxaca (*Istmo de Tehuantepec*). Aparentemente se cuentan con los recursos naturales necesarios y en gran disponibilidad, pero no se cuentan con las condiciones apropiadas para que la industria eólica en el país adquiriera un giro de innovación y desarrollo que impacte de forma contundente al sector y a la sociedad misma.



SUGERENCIAS PARA TRABAJOS A DESARROLLARSE A FUTURO

- Investigar si el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), puede ser considerado como potencial promotor de la innovación en la industria eólica.
- Profundizar en la investigación de políticas públicas que han de servir como apoyo fundamental para la promoción de la tecnología e innovación en la industria eólica.
- Estudio de la futura e inminente escasez en México de hidrocarburos así como de otras fuentes de energía no renovables como posibles agentes de cambio tecnológico.
- Estudio a fondo de la cadena productiva de la industria de la energía eólica en México.
- Estudio y análisis del impacto de las empresas extranjeras en México en el desarrollo de aprendizaje y capacidades tecnológicas en la industria eólica de México.
- Situación actual de otras tecnologías renovables para un análisis en conjunto de su potencial respaldo energético.
- Conocimiento y estimación del recurso eólico marino en México.



ANEXO 01 CASO DE ESTUDIO: ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO

El plan prospectivo diseñado para la implementación e impulso de tecnología eólica en México será exitoso siempre y cuando se realice un análisis detallado sobre una serie de aspectos vinculados directamente con la problemática de la industria eoloelectrónica en nuestro país.

Lo primero que debe destacarse, es que la finalidad de los aerogeneradores es producir energía eléctrica para satisfacer las necesidades que día con día se presentan en la vida del hombre. Lo anterior resulta importante si tomamos en cuenta que dicho suministro de energía debe ser continuo y debe cubrir toda la demanda que crece a medida que avanza el tiempo además de que se trata de una opción renovable y amigable con el medio ambiente. Figura 01.

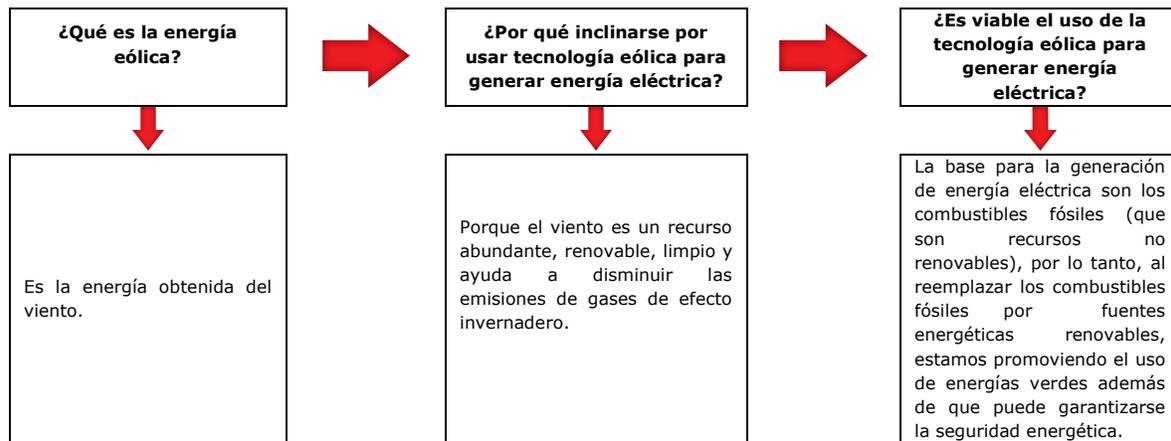


Figura 01. Concepción básica de lo que es la energía eólica.
Fuente: construcción propia a partir de las definiciones de Jaramillo (2008)

La electricidad es, desde hace ya mucho tiempo, la forma de energía más utilizada en todo el mundo pues se le puede utilizar en prácticamente cualquier tarea. A la par de esto, ha sido un medio que ha impulsado a la humanidad en muchos aspectos.

Sabemos que, actualmente, la energía eléctrica se obtiene en un gran porcentaje a partir de combustibles fósiles. Lo anterior tiene como consecuencia que el hombre ha entrado en una espiral descendente donde se explotan en exceso dichos combustibles fósiles (recursos no renovables) con la inevitable generación de gases nocivos para el medio ambiente. La preocupación por algunos países ante esta situación ambiental (*unida a la inminente escasez energética que se viene si no se reorientan los objetivos*), han derivado en planes y acuerdos cuyo fin es garantizar el futuro energético en todo el mundo reduciendo, de manera paralela, el impacto negativo hacia el medio ambiente.



La necesidad creciente por ir rompiendo gradualmente con los lazos que se tienen con los combustibles fósiles (*demasiado arraigados*), ha derivado en la innovación de generadores de energía eléctrica cuya principal característica es la protección al ambiente. Hablando exclusivamente del campo de la generación de energía eléctrica, la tecnología eólica forma parte de las innovaciones más importantes de los últimos tiempos debido a que logró cambiar la percepción tradicional que se tenía para generar electricidad.

La tecnología eólica no se limita a un único papel que es el de generar y suministrar energía eléctrica donde se le requiera pues, además, ha demostrado tener impactos positivos en la sociedad porque se generan empleos en los lugares donde se implementa (*con el inminente nacimiento de capital humano que, con el tiempo y gracias a un aprendizaje continuo, logra cierto grado de especialización*), derivando en un dominio de capacidades tecnológicas⁽¹⁾ que permiten usar dicha tecnología de forma más eficiente.

Los impactos positivos que se han mencionado, son el enlace entre las disciplinas de ingeniería, ciencia y gestión, para planear e implementar todo lo aprendido (*gracias a la madurez y a las experiencias tanto de éxitos como de fracasos acumulados*), para dar forma a las capacidades tecnológicas y alcanzar los objetivos planteados. Dichas capacidades tecnológicas implican la oportunidad de potenciar las oportunidades y las posibilidades del desarrollo de la innovación tecnológica con la intención de fortalecer las capacidades individuales y colectivas dentro de la sociedad con la finalidad de fomentar lo que las personas y la sociedad quieren y pueden ser.

De acuerdo a Aranda (2005), la tecnología eólica, al día de hoy, resulta una experiencia exitosa por la conjunción de tres elementos importantes (figura 02):

- **Cubre una necesidad social.** La creciente demanda mundial de energía obliga a explorar otras formas de generación de energía eléctrica con el fin de cubrir las necesidades actuales y futuras de la sociedad en todo su conjunto.
- **De una manera favorable, se han desarrollado recursos tecnológicos⁽²⁾ (tales como capital, materiales y personal especializado y/o calificado).** Lo anterior se demuestra con los casos de éxito de empresas como Vestas (*Dinamarca*), Siemens (*Alemania*), Gamesa (*España*), entre otros; que hoy son líderes mundiales en diseño, producción e instalación de complejos eólicos.

(1) Llamamos capacidades tecnológicas a la conjunción de actitud, aptitud, habilidades y conocimientos con el fin de generar y aplicar tecnología de forma planeada, organizada e integral. El objetivo de las capacidades tecnológicas es la generación de ventajas competitivas; que no es otra cosa sino una característica que tiene un producto o servicio que lo hace mejor y, evidentemente, lo pone por encima de la competencia (Valdés, 2005).

(2) Hay que entender recursos tecnológicos como el conjunto de medios materiales (herramientas, métodos, patentes) y sobre todo inmateriales (conocimientos científicos y técnicos, know-how) de que la organización dispone y/o que le son accesibles -en el interior (capacidades y potencialidades individuales y colectivas) o en el exterior (empresas, socios o aliados eventuales)- para concebir, fabricar y comercializar sus productos o servicios, adquirir y explotar información además de asegurar el funcionamiento y gestión de todas la funciones (Estrada, 2001).



- **Existe un apoyo de algunos gobiernos a fin de subsanar la problemática tanto ambiental como de seguridad energética.** Ejemplos palpables pueden ser observados en los gobiernos de Alemania, China, Estados Unidos, etc. mediante mecanismos de apoyo tales como subsidios y financiamiento; la creación de leyes y reglamentos enfocados al impulso y la implementación de tecnologías a partir de recursos renovables (*incluida la eólica*) y la creación de recursos humanos destinados tanto a la operación, mantenimiento y puesta en marcha de generadores eólicos como a la operación de centros de investigación.

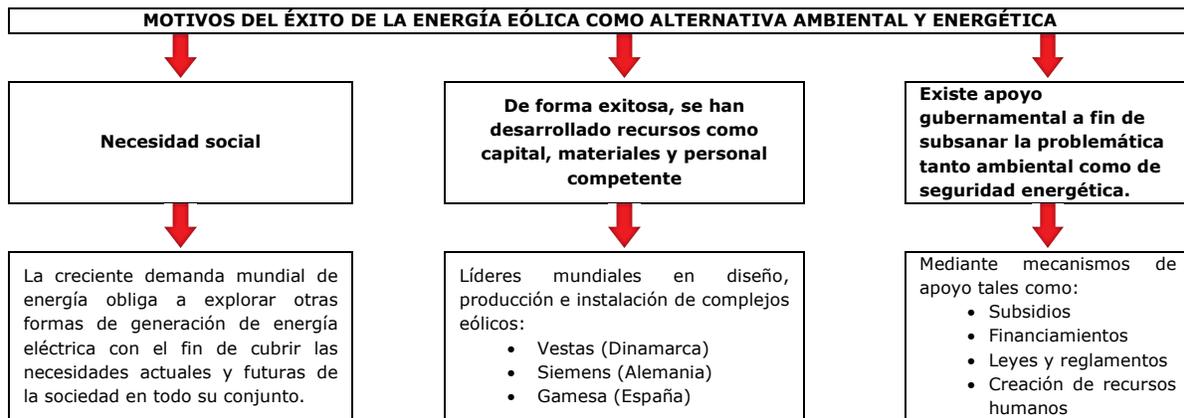


Figura 02. Razones del éxito de la tecnología eólica a nivel mundial.
Fuente: construcción propia a partir de los datos de Aranda (2005).

México hoy tiene la enorme necesidad de empezar a buscar otras fuentes para generar energía pues es bien sabido que pronto existirá una crisis energética debida principalmente a que se sigue teniendo una enorme dependencia hacia el petróleo. Muchos son los actores que deben participar de forma activa en este camino y es importante señalar que, mientras más pronto se busquen nuevas formas de generar la energía que requerirá el México del mañana, más pronto se podrá acceder a capacidades tecnológicas que ayuden a potenciar oportunidades de desarrollo.

A partir de la revisión y análisis de la estructura general del plan prospectivo, es importante proceder a desarrollar un modelo conceptual para gestionar la tecnología requerida a fin de cumplir las expectativas plasmadas en dicho plan.

De acuerdo a las consideraciones que se realizaron en el plan prospectivo, el modelo está obligado a considerar a los distintos actores que deben participar de forma activa en la gestión de la tecnología eólica. Lo anterior es un factor crucial debido a que puede observarse que en los países desarrollados, son precisamente las sinergias que existen entre entidades gubernamentales, instituciones, universidades y centros de investigación, lo que les ha dado buenos resultados para el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías. Para efectos prácticos, al conjunto de actores involucrados se les tratará como una organización debido a que dicho conjunto de actores es un sistema diseñado para alcanzar ciertas metas y objetivos. En otras palabras, una



organización es un grupo social formado por personas, tareas y administración, que interactúan en el marco de una estructura sistemática para cumplir con sus objetivos (*Parsons; citado en Jiménez, 2011*).

En el modelo a desarrollarse se definen varias etapas de gestión a fin de identificar, evaluar, seleccionar, adquirir, asimilar y utilizar eficientemente la tecnología eólica. Las actividades que caracterizan a las etapas mencionadas (*y que van fuertemente ligadas a las consideraciones fundamentales del plan prospectivo*), son las siguientes:

- **I) Identificación de las tecnologías requeridas.** Dicha identificación se hace en primera instancia mediante la fijación de prioridades (*Capítulo V: Análisis del sector energético mexicano y del uso de tecnología eólica para la producción de energía en el país*). Figura 03.
 - **Cuidado del medio ambiente.** El uso indiscriminado y sostenido de combustibles fósiles y la desmedida contaminación ambiental que representa la generación de energía eléctrica a partir de dichos combustibles, ha orillado a la búsqueda de otras opciones de generación de energía eléctrica que sean más respetuosas con el medio ambiente además de asegurar la demanda energética actual y futura. Las tecnologías necesarias para solucionar esos problemas serán aquellas que disminuyan el impacto negativo que se tiene sobre dicho ambiente además de que puedan dejar un amplio margen de maniobra para la implementación gradual, investigación y desarrollo de medios alternos para generar energía eléctrica. Al día de hoy, la tecnología eólica ya sobrepasó fronteras terrestres y se hace presente incluso en zonas de mar abierto con un impacto al ambiente relativamente nulo.
 - **Seguridad energética y generación de energía eficiente.** La generación de energía eléctrica a partir del recurso eólico (*generadores eólicos*), si bien no es la única forma, es la que mejores resultados y avances ha tenido a últimas fechas tal y como se ha visto en los anteriores capítulos de la presente investigación. Además de lo anterior, hemos visto que la tecnología eólica, en su implementación, tiene un impacto positivo sobre los usuarios finales en cuanto a calidad y costo de la energía eléctrica obtenida por este medio.

I IDENTIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS REQUERIDAS	ASPECTOS AMBIENTALES <ul style="list-style-type: none">• Impacto ambiental• Incidencia ecológica• Uso responsable de los recursos naturales
	ASPECTOS TÉCNICOS <ul style="list-style-type: none">• Seguridad y eficiencia energética• Modernización del sector eléctrico

Figura 03. Identificación.

Fuente: construcción propia a partir del análisis realizado en el capítulo V.



La identificación de la tecnología requerida debe ser un paso importante con el fin de cumplir las expectativas de la gestión tecnológica proyectada.

Partiendo de la premisa básica de que se requiere un medio para generar energía eléctrica sin afectaciones considerables al medio ambiente, identificar a la tecnología eólica como una alternativa fuerte, seria y con resultados favorables *-y demostrados a nivel mundial-*, no debe representar problemas para los dos actores principales de Gobierno (*SENER* y *SEMARNAT*).

En el aspecto técnico y energético, la Secretaría de Energía, siendo el máximo organismo responsable de la conducción de la política energética de México, debe promover la modernización, eficiencia y desarrollo del sector energético mexicano además de controlar y vigilar su debido cumplimiento a través de los diferentes mecanismos legales con que cuenta y con ayuda de las diferentes dependencias del sector energético. Dichas dependencias (*Comisión Reguladora de Energía, Instituto de Investigaciones Eléctricas y la Comisión Federal de Electricidad*), reúnen experiencia suficiente en los campos de generación, transmisión y distribución de electricidad, basados en principios técnicos y económicos, sin fines de lucro y con un costo mínimo en beneficio de los intereses generales de la sociedad mexicana.

Para la parte ambiental, la SEMARNAT será la encargada de realizar una evaluación y dictamen sobre las manifestaciones de impacto ambiental que puedan surgir a partir de los proyectos de desarrollo de generadores eólicos que presenten los sectores público, social y privado (*avalados y supervisados de manera paralela por la SENER y demás dependencias afines*), además de que deberá resolver cualquier incidente que se presente sobre los estudios de riesgo ambiental mediante la creación de programas para la prevención de accidentes con incidencia ecológica. Si a lo anterior le agregamos una correcta administración y regulación en el uso, aprovechamiento y promoción de los recursos naturales, se accede a una excelente oportunidad de utilizar una tecnología bien seleccionada y que aproveche de manera sustentable los recursos del país.

Con esta sinergia, ha de observarse claramente un mecanismo de carácter político, técnico y ambiental muy selectivo en el que los actores mencionados se encarguen de poner en marcha una industria de energía eólica de base tecnológica con bajo impacto dentro del sector eléctrico y, por consecuencia, de impacto también menor en los demás sectores productivos. El impulso a la industria eólica genera invariablemente cadenas productivas⁽³⁾ capaces de estimular, a su vez, innovaciones procedentes de usuarios y suministradores, y que a su vez generan riqueza para las comunidades en donde se desarrolla. Figura 04.

(3) *Cadena productiva es el conjunto de agentes y actividades económicas que intervienen en un proceso productivo, desde la provisión de insumos y materias primas, su transformación y producción de bienes intermedios y finales, y su comercialización en los mercados internos y externos (ITESCAM, 2008). En el ámbito eólico, entonces, estamos hablando de una cadena productiva que cubre aspectos tales como: diseño, operación, mantenimiento, construcción, supervisión y optimización de todo un sistema de generación de energía eléctrica a partir del viento.*

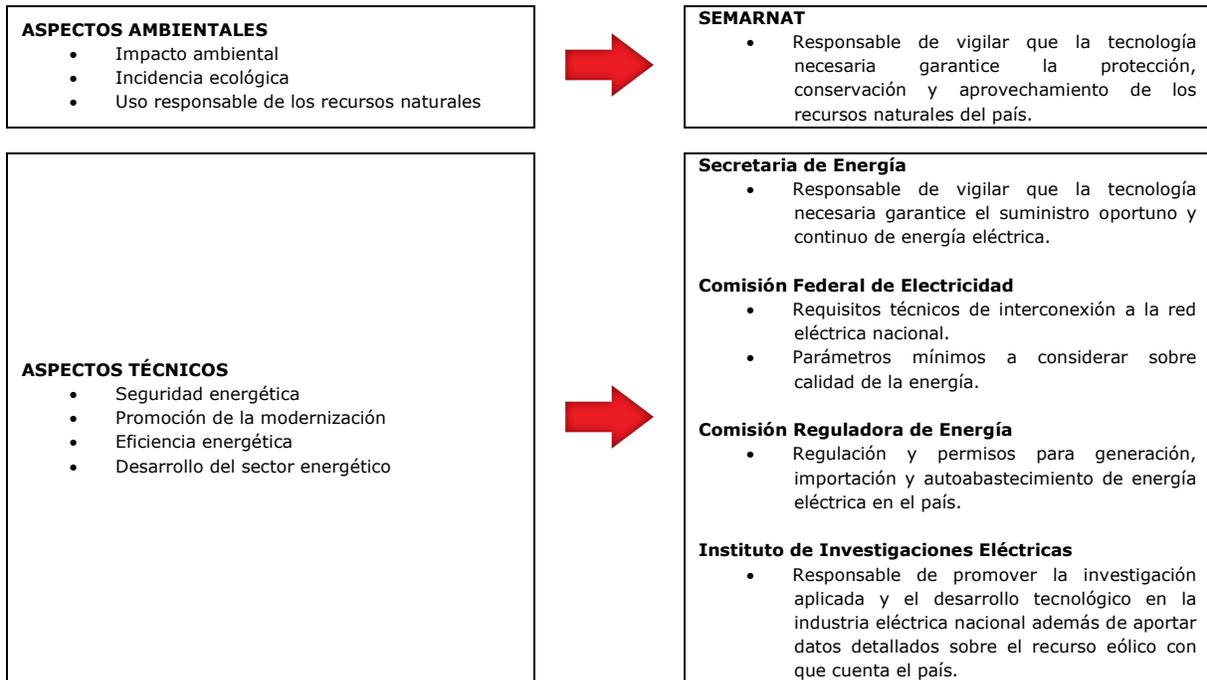


Figura 04. Actores responsables de la identificación de la tecnología requerida.

Fuente: construcción propia a partir del análisis realizado en el capítulo V.

- **II) Evaluación y selección.** La evaluación de la tecnología es un ejercicio analítico consistente en valorar información, conocimiento y resultados experimentales en función del impacto que tiene la tecnología sobre una organización (*Bellido, 2012*). Para un determinado proyecto, el número de tecnologías que potencialmente pueden emplearse es muy elevado, y será necesario seleccionar aquellas que sean más adecuadas, una vez evaluadas. Figura 05.

Las pautas para evaluar cuál es la mejor opción en cuanto a tecnología eólica se refiere, son las siguientes:

- ✓ **Análisis de mercado.** Actividad que realizan organizaciones o empresas con la finalidad de saber la viabilidad comercial de una actividad económica. Un análisis de mercado eólico incluye un estudio sobre los competidores existentes (cuántos son, qué ventajas competitivas existen entre un competidor y otro, imagen, productos, recursos con los que cuenta, presencia en el país, entre otros).
- ✓ **Análisis de consumidores.** Como sabemos, la finalidad de un generador eólico es la producción de energía eléctrica. Para acceder a la mejor opción eólica, es importante conocer el comportamiento de los consumidores de energía eléctrica,



detectar sus necesidades de consumo y la forma de satisfacerlas, averiguar sus hábitos de compra (lugares, momentos, preferencias...), etc. El objetivo final de este análisis es recopilar datos que permitan cubrir, a través de un producto o servicio, la demanda no satisfecha de los consumidores.

- ✓ **Benchmarking.** Proceso sistemático y continuo para comparar productos, servicios y/o procesos de trabajo en organizaciones que evidencien las mejores prácticas sobre un área de interés, con el propósito de transferir el conocimiento de las mejores prácticas y su aplicación.

El “benchmarking tecnológico” puede obtener información de:

- **Las empresas seleccionadas (fuentes directas).** No es fácil que las empresas desarrolladoras de generadores eólicos proporcionen información extensa sobre aspectos concretos de su tecnología a terceros porque eso pone en peligro la confidencialidad sobre sus procesos. Por esta razón, es preferible utilizar las fuentes indirectas.
 - **Fuentes indirectas.** Los propios proveedores de la tecnología eólica suelen ser quienes proporcionan información relativa (*y suficientemente limitada*) al uso de las tecnologías que ellos mismos venden mediante análisis de la forma en la que sus clientes han hecho uso de la misma y han mejorado su rendimiento. Muchos de estos proveedores promueven organizaciones de usuarios y recogen sistemáticamente sus experiencias. Los casos de las empresas líderes del ramo eólico lo demuestran (*Vestas, Gamesa, Siemens, entre otros*).
- ✓ **Prospectiva tecnológica.** Es una herramienta que resulta de gran utilidad para comprender y explicar la evolución de una tecnología en el futuro próximo, lo que permite a la empresa anticiparse a los efectos negativos que sobre su actividad puede tener y aprovechar las oportunidades que la misma ofrece. El método base en que se fundamenta la prospectiva tecnológica es la creación de escenarios, es decir, descripciones de situaciones futuras y de los caminos de los acontecimientos que permitan pasar de la situación actual a la situación futura. Uno de los criterios más importantes a considerar es cómo se integrará y se adaptará una nueva tecnología a los procesos y a las aplicaciones existentes sin afectaciones considerables al entorno. La tecnología seleccionada deberá funcionar de manera favorable en cualquier entorno existente pues se ha demostrado que los proyectos que tienen poco impacto sobre los procesos actuales, suelen ser los que tienen más posibilidades de triunfar.



II EVALUACIÓN Y SELECCIÓN	<p>ANÁLISIS DE MERCADO (fabricantes de generadores eólicos)</p> <ul style="list-style-type: none">• Infraestructura que poseen• Productos que ofrecen• Servicios que ofrecen <p>ANÁLISIS DE CONSUMIDORES</p> <ul style="list-style-type: none">• Necesidades de consumo energético• ¿Quién consume energía?• ¿Cuándo la consume?• ¿Qué necesidades energéticas hay? <p>BENCHMARKING</p> <ul style="list-style-type: none">• Identificar a los líderes• Estudiar las mejores practicas• Implementar las mejores practicas• Dar continuidad al proceso <p>PROSPECTIVA TECNOLÓGICA</p> <ul style="list-style-type: none">• ¿Hacia dónde va la energía eólica?• ¿Qué implica una futura integración y adopción de la tecnología eólica al proceso de generación existente?
--	---

Figura 05. Evaluación y selección.

Fuente: construcción propia a partir de la información obtenida de Bellido (2012).

Dentro de la etapa de análisis de mercado, es importante mencionar que, dentro de la tendencia actual del mercado de los generadores eólicos, hay varias características destacables y, como primer punto, tenemos la capacidad de generación. Las plataformas actuales comprenden potencias de generación comprendidas entre los 5.0 MW y los 7.0 MW.

Como segundo punto, ha de considerarse un diseño modular, asegurando de esta forma una máxima fiabilidad en los generadores pues existe la opción de cambiar únicamente algunas piezas y no todo un sistema además de que se tiene facilidad de montaje y mantenimiento.

Otro punto interesante, actual y que tiene que ver mucho con lo que se pretende dentro del plan prospectivo, es que los generadores eólicos cumplan con los parámetros de red eléctrica más exigentes (*evitar la introducción de armónicos a la red; mantener valores óptimos de frecuencia, tensión y secuencia de fases a fin de lograr una sincronización entre generador y red eléctrica*) y las normas medioambientales más restrictivas. Lo anterior es posible de dimensionar gracias a estándares internacionales como la IEC6400 (*aspectos técnicos*), o la certificación en eco-diseño ISO 14006 (*aspectos ambientales*).

Parámetros eléctricos y ambientales han de analizarse a través de una planta piloto. La información que pueda generar dicha planta piloto permitirá acotar en su justa medida todo el impacto técnico, ambiental y económico que derive en un proyecto de gran envergadura. La responsabilidad de analizar tanto la información que proporciona el fabricante como todos los parámetros que arroje la planta piloto, recae en las dependencias satélites de la SENER (*CFE, IIE y CRE*).

Es importante resaltar que, en la actualidad, las necesidades de toda organización ya no se limitan al suministro y la instalación de un determinado producto o servicio. Hoy resulta fundamental que toda propuesta encaminada a solventar ciertas necesidades cubra, cuando menos, una correcta



asesoría para integración de servicios; operación y mantenimiento además de proyección, interacción y retroalimentación empresa-cliente a fin de detectar las mejores oportunidades de desarrollo. *Dichas oportunidades pueden darse básicamente de dos formas: una es mediante la presentación de soluciones tipo llave en mano⁽⁴⁾ o bien, mediante la creación de pequeñas empresas a fin de desarrollar tecnología de forma local⁽⁵⁾.*

Sea que se elija un convenio tipo llave en mano o bien, una pequeña empresa conjunta, ha de establecerse de forma clara una relación no únicamente económica sino de poder. Dicha relación de poder se crea mediante una vinculación entre los conocimientos que ofrece el proveedor de la nueva tecnología con las capacidades que actualmente existen en la organización demandante de tecnología. El vínculo exitoso crea, invariablemente, oportunidades de desarrollar ventajas competitivas que deriven en una diferencia notable en relación a otras alternativas con la misma solución tecnológica.

Todo el valor agregado que se tenga más allá del beneficio implícito del equipo seleccionado (*específicamente hablando de aspectos técnicos tales como servicios, asesoría, operación y mantenimiento*), deberá ser evaluado en conjunto por el sector energético (CFE, IIE y CRE) y por la Subsecretaría de Comercio Exterior, órgano dependiente de la Secretaría de Economía enfocado a la creación, formalización y administración de tratados y acuerdos internacionales de comercio e inversión con el objetivo de fortalecer la competitividad del país.

Un punto interesante es que México puede, además de realizar acuerdos con empresas desarrolladoras de tecnología eólica, acceder a organismos y foros multilaterales y regionales enfocados específicamente al campo de desarrollo de tecnología eólica. Como ejemplos tenemos a la Asociación Mundial de Energía Eólica y la Wind Power Database.

En referencia al análisis que debe de hacerse de los consumidores, los datos que pueda obtener la CFE a través de los recibos (*tarifas*), los estudios de factibilidad y las gráficas de comportamiento en función de los horarios de consumo diario de energía a nivel nacional, darán la pauta necesaria para detectar las necesidades elementales que tiene cada tipo de consumidor.

(4) Un contrato "llave en mano", es aquel en donde un contratista se obliga frente al cliente o contratante, a cambio de un precio, a concebir, construir y poner en funcionamiento una obra o proyecto determinado. Lo anterior implica que el contratista no ofrece alternativas para cubrir necesidades; más bien se encarga de fijar una única solución con base a su experiencia en el ramo. Lo anterior representa una desventaja pues el cliente final no acompaña el proceso. Evidentemente, esa ausencia de acompañamiento no permite un buen aprendizaje (CAF, 2009).

(5) Los agentes de desarrollo local deben hacer un gran esfuerzo a fin de comprender las nuevas tecnologías, apropiarse de herramientas tecnológicas útiles y usar todas las posibilidades para crear empleos para hacer más dinámica la economía local. La única forma de reducir la brecha social que existe entre conocimiento e ignorancia es a través de la inteligencia, el conocimiento y la ayuda de nuevas herramientas técnicas (Lorenzo, 2008).



Para el benchmarking, hay que resaltar que la pauta principal de interés al interior de la organización es la seguridad energética y el sustento medioambiental. Para el caso específico de la energía eólica, es fundamental voltear la mirada a los casos de éxito en el mundo: Estados Unidos, China y Alemania son perfectos ejemplos. Figura 06.

CHINA	ESTADOS UNIDOS	ALEMANIA
El método de "ingeniería inversa" les ha permitido acceder, aunque de forma limitada por el momento, a nuevos conocimientos sobre tecnología eólica.	Aunque aún apuesta fuertemente por el uso de combustibles fósiles por varios años más, cuenta con un mix energético diversificado.	El calentamiento global es parte de la agenda pendiente de muchos países europeos, incluyendo a Alemania.
La Ley ha sido modificada a fin de buscar una participación cada vez mayor de recursos renovables para la generación de energía eléctrica.	Ha establecido un objetivo mínimo de consumo eléctrico de origen renovable.	Con base a la Ley de Energías Renovables, es una prioridad que las energías renovables vayan ganando mayor terreno dentro del esquema energético alemán.
La creación de incentivos y programas específicos de energías renovables permite la participación activa de inversión nacional y extranjera a fin de establecer en el país toda la masa crítica necesaria para investigación y desarrollo de tecnologías enfocadas al uso, producción, manejo y almacenamiento de energía a partir de recursos renovables.	Las empresas suministradoras de energía o "utility", pueden comprar energía (a menores costos) a los independientes o bien, desarrollar sus propios proyectos de generación de energía a partir de recursos renovables.	La promoción y desarrollo de nuevas tecnologías con base a la energía renovable ha impulsado el desarrollo y la generación de empleos.
	El Gobierno permite que empresas extranjeras establezcan en el país centros de investigación y desarrollo de tecnologías renovables a fin de seguir encontrando soluciones atractivas a la creciente y constante demanda de energía.	Los beneficios que tienen los productores de energía eólica que vendan energía de fuentes renovables a la red pública hace atractiva la inversión en ese sentido.

Figura 06. Principales causas del éxito en los países líderes en generación eólica.

Fuente: construcción propia a partir del análisis realizado en el capítulo IV.

Las mejores prácticas, a manera de resumen, son las siguientes:

- **Modificación de la ley para impulsar y promover la generación de energía a través de recursos renovables.** Darle impulso y continuidad reales a leyes ya existentes -tal y como es el caso de LAERFTE-, deben crear bases legales sólidas y con seriedad absoluta para el correcto emplazamiento de generadores de energía a partir del recurso eólico.
- **Creación de inventivos y programas encaminados al fomento de inversión a fin de crear masa crítica para I+D.** en México pese a que existen programas similares, ha faltado solidez al momento de la promoción. Como ejemplo tangible, el Fondo Sectorial de Sustentabilidad Energética SENER-CONACyT, otorga apoyos a Instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación que promuevan la innovación e investigación científica y tecnológica aplicada a las fuentes renovables de energía, eficiencia energética, uso de tecnologías limpias y la diversificación de fuentes primarias de energía. Un actor que, sin duda alguna, puede aportar mucho a la sinergia SENER-CONACyT, es el IIE. La experiencia que se tiene en campos específicos tales como Sistemas Eléctricos (*eficiencia*



y ahorro energéticos); Energías Alternas (*fuentes renovables de energía*) y Sistemas Mecánicos, pueden ser significativas al momento de asimilar mejores prácticas.

- **Mix energético diversificado.** El consumo de energía en México depende, y por mucho, del petróleo, el gas y el carbón. Los expertos recuerdan que estos combustibles, además de contaminantes, serán cada vez más caros y escasos. Por ello, resultará imprescindible reducir durante los próximos años la dependencia energética concentrada en hidrocarburos, y diversificar las fuentes de energía, apoyando especialmente a las renovables que resultan, invariablemente, más ecológicas. Si se desean cumplir las metas de crecimiento trazadas para el periodo 2012-2026, además de la reducción de emisiones contaminantes (*SENER: Prospectiva del Sector Eléctrico, 2011*), resulta impostergable aumentar la presencia de las renovables en el mix energético a la vez de que se debe reducir gradualmente el peso de los combustibles fósiles, especialmente el petróleo, hoy por hoy el gran dominador del sistema energético.

Los puntos anteriores ejemplifican fehacientemente que tanto empresas como países y organizaciones, han acumulado suficientes conocimientos, experiencia y los medios necesarios que derivan en buenas prácticas con el fin de desarrollar tecnología eólica capaz de producir la máxima cantidad de energía posible además de cumplir con prácticamente cualquier exigencia del mercado ya sea de tipo técnica o normativa.

Para finalizar, en lo referente a la prospectiva tecnológica, es necesario tener en cuenta cuáles son las tendencias tecnológicas a fin de determinar cuáles pueden ser los posibles caminos que se tomen. Tarea del IIE, por un lado, como organismo con la mayor experiencia en el rubro de investigación y desarrollo de equipos eléctricos para generación, transmisión y almacenamiento. Por el otro lado, la SENER, a través de la CFE y la CRE, deberán hacer ejercicios prospectivos que tengan que ver directamente con la cantidad de energía que es necesario producir para cubrir las necesidades del México futuro.

De acuerdo a CEGESTI (2005) Actualmente existen 6 tendencias tecnológicas que engloban básicamente: a) métodos de producción; b) métodos de instalación; c) materiales para fabricación; y d) nuevos modelos. Cada una de esas tendencias impacta de forma diferente al desarrollo de la tecnología eólica. Figura 07.

Conforme se desarrolle el análisis prospectivo, se hará evidente el hecho de que existe una gran variedad de factores de naturaleza muy variada. Como ejemplo citamos:

- 1) El costo de los combustibles fósiles (*que se seguirán usando mientras que de forma simultánea se van introduciendo alternativas verdes*);
- 2) La necesidad *-ya antes señalada-*, de un marco regulatorio que apoye la introducción paulatina de soluciones tecnológicas sustentables;



- 3) La sociedad debe ser respetada y, por lo tanto, los desarrollos eólicos deben estar lo más lejano posible de asentamientos humanos. Si eso no es posible, hay que buscar alternativas tecnológicas (*como la disminución de ruido*), que permitan la cercanía y sana convivencia entre centrales eólicas y concentraciones humanas.

<p style="text-align: center;">I AUMENTO EN EL NÚMERO DE HORAS ANUALES EQUIVALENTES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor longitud de las palas La mayor longitud de las palas permite barrer una mayor área. • Optimización del diseño de las palas Desarrollo de los diseños y de los materiales utilizados para construir las palas de forma que sean más resistentes y más ligeras. • Mayor altura de la torre Mayor altura de la torre permite alcanzar zonas de viento más potente y constante. • Optimización de los sistemas de control Mejora en la medición del recurso eólico y la adaptación del aerogenerador al mismo. • Sistemas de almacenaje masivo de energía Baterías que carguen energía eléctrica generada por el viento cuando la demanda es menor que la producción.
<p style="text-align: center;">II AUMENTO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA NETA</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración de generación eléctrica Tendencia hacia generadores síncronos con multiplicadores pequeños (relación 1:10) o sin multiplicador.
<p style="text-align: center;">III REDUCCIÓN DIRECTA DE COSTOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de transporte, montaje y mantenimiento Diseños modulares, grúas de montaje acopladas a la góndola, plataformas auto estabilizadas. • Utilización de materiales más resistentes y en menor cantidad Desarrollo de materiales con mayor resistencia por unidad de peso y por unidad de coste.
<p style="text-align: center;">IV INCREMENTO DE LA VIDA ÚTIL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de vibraciones Diseños del aerogenerador que disminuyan las tensiones vibratorias estructurales y/o el número de ciclos de vibración así como el ruido.
<p style="text-align: center;">V GENERACIÓN OFFSHORE</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de cimentaciones Modelos de cimentación más baratos y menos complejos de construir e instalar especialmente para altas profundidades • Desarrollo de cableado marino Tecnologías que reduzcan los costes de compra e instalación del cableado marino así como las pérdidas de transmisión.
<p style="text-align: center;">VI DISEÑOS ALTERNATIVOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de la generación eólica de media potencia y micro potencia Utilización de aerogeneradores de tamaño más reducido para zonas de menor viento, áreas industriales o urbanas. • Evolución del estándar en el modelo de aerogenerador Desarrollo a nivel económicamente competitivo en el modelo tecnológico de aerogeneración.

Figura 07. Actuales tendencias tecnológicas de la generación eólica.

Fuente: CEGESTI (2005)

Actores como la Secretaria de Economía, La SENER y la SEDESOL, entre otros, harán la aportación respectiva.



Tal y como mencionamos en un inicio, toda tecnología que va a asimilarse debe impactar lo menos posible en procesos y aplicaciones existentes sin afectaciones considerables al entorno. Dentro del campo de generación y distribución de energía eléctrica, las únicas adecuaciones requeridas, de acuerdo a la arquitectura actual con que cuenta el Sistema Eléctrico Nacional, es la interconexión de generadores eólicos a la red eléctrica deberá hacerse entre 69,000 y 400,000 volts. La diferencia entre uno y otro sistema está referida exclusivamente al transformador utilizado.

Lo anterior pone de manifiesto que tenemos en la energía eólica una aplicación que no afecta el entorno eléctrico de la generación ya sea en el corto, mediano y/o largo plazo. Es tarea de la CFE, fijar las reglas y bases para la interconexión con la red mediante sistemas eólicos (*y otros más a considerar gradualmente*). Figura 08.

- **III) Adquisición.** Una vez que se ha detectado la necesidad de dar un impulso al estado actual de las tecnologías de generación de energía eléctrica, es importante tener en cuenta que hay varios caminos para obtener la tecnología requerida para solventar dicha necesidad. Figura 09.
 - ***Desarrollándolas de forma interina en centros de I+D o en los departamentos de ingeniería de Escuelas, Institutos y Universidades.*** Debido a que resulta estratégico desarrollar la tecnología de tal forma que incremente directa o indirectamente la rentabilidad (*lo anterior mediante el aumento de ingresos, la reducción de costos, o ambos*). Considerando, además de lo anterior, que el desarrollo tecnológico repercute positivamente en el entorno pues la experiencia que se tiene en los campos de maquinas eléctricas (*generadores, motores y transformadores*), ha demostrado que en México existen buenas capacidades tecnológicas en cuanto a las ingenierías elementales de un generador se refiere. Lo anterior obliga, invariablemente, a introducir a las empresas del ramo de maquinas eléctricas así como a las escuelas e instituciones de educación superior para formar recursos humanos especializados en las áreas básicas de ingeniería de aerogeneradores (*Aranda, 2005*).

El fomento a la creación e impulso de la masa crítica⁽⁶⁾ capaz de desarrollar tecnología eólica encaminada a cubrir necesidades específicas, permitirá tomar mejores decisiones pues, independientemente del conocimiento tecnológico adquirido, se tendrán ideas claras acerca de los costos y tiempos involucrados en todo el proceso, así como el ciclo de vida intrínseco a la tecnología

(6) En sociología, masa crítica es una cantidad mínima de personas necesarias para que un fenómeno concreto tenga lugar. Así, el fenómeno adquiere una dinámica propia que le permite sostenerse y crecer. Esta teoría es un paralelismo con el mismo concepto en física (Jiménez, 2011). Para usarlo en términos de tecnología, masa crítica es la cantidad mínima de personas que se necesita para el impulso y desarrollo de tecnología (eólica, en este caso).

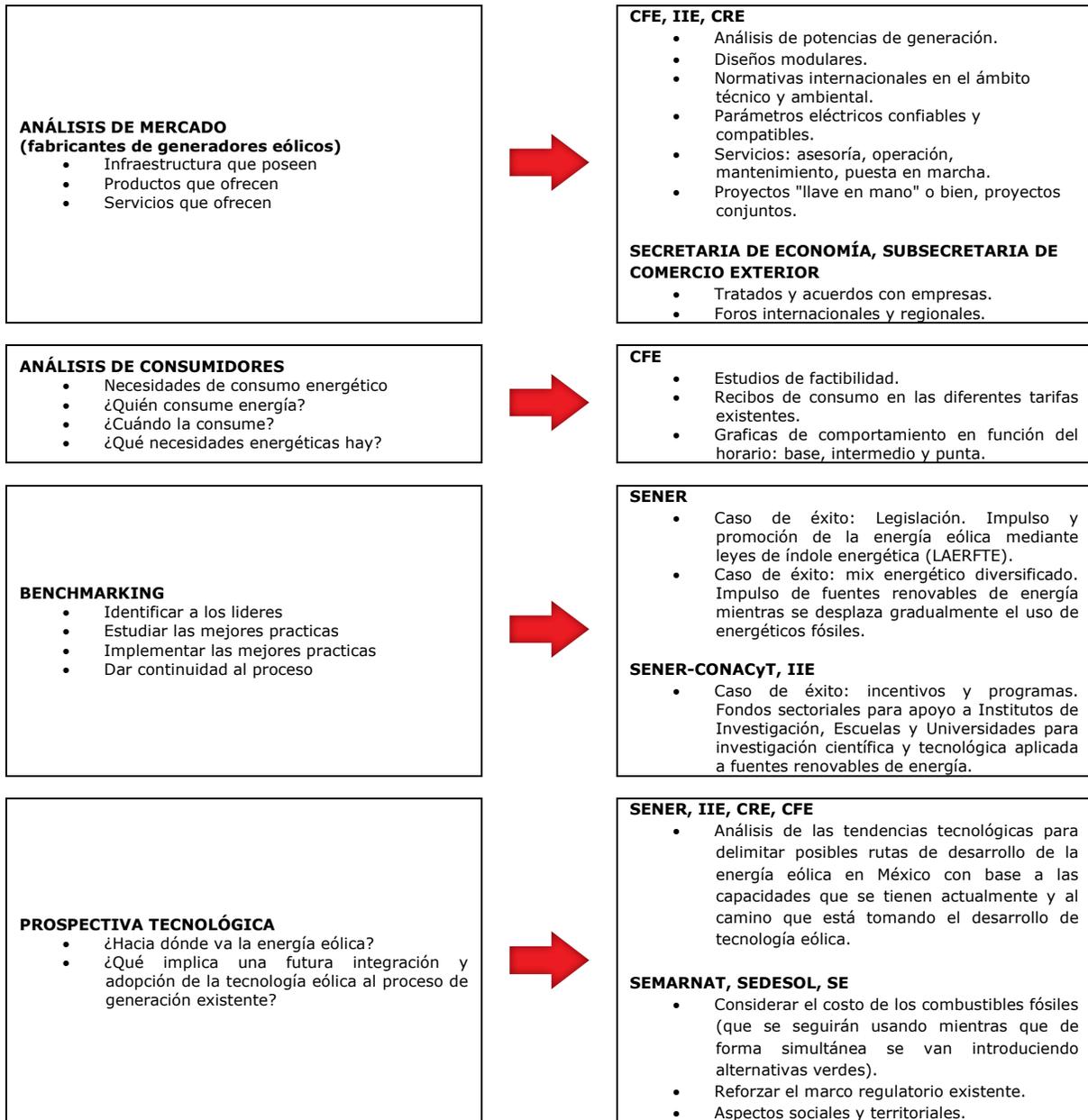


Figura 08. Actores involucrados en la evaluación y selección.

Fuente: construcción propia a partir de la información obtenida de Bellido (2012) y del análisis realizado en el capítulo IV.



- **Acudiendo al mercado tecnológico (transferencia de tecnología).** Las tecnologías requeridas están disponibles externamente ya sea mediante centros de I+D públicos con los que existen convenios tecnológicos que permiten incorporar fácilmente esas tecnologías o los conocimientos asociados; o bien, mediante suministradores de tecnología con los que se generen acuerdos.

III ADQUISICIÓN	I+D PROPIOS <ul style="list-style-type: none">• Desarrollo de tecnología de forma interina• Transferencia de tecnología
	MERCADO TECNOLÓGICO (transferencia de tecnología) <ul style="list-style-type: none">• Convenios con otras organizaciones para generar masa crítica capaz de desarrollar I+D.• Convenios con suministradores de tecnología con los que se generen acuerdos.

Figura 09. Adquisición de tecnología.

Fuente: construcción propia a partir de la información obtenida de Aranda (2005)

Como sabemos, la adquisición de tecnología eólica ha de llevarse a cabo mediante dos posibles vertientes: el desarrollo propio de dicha tecnología o bien, mediante transferencia tecnológica.

En otras palabras: “hacerla o comprarla”.

Actualmente, México es únicamente un importador de turbinas eólicas *-en particular de empresas españolas-*, y no cuenta con apoyo de dichas empresas para generar conocimiento útil que sienta las bases de una cadena de valor en la industria eólica mexicana. Para que México se inserte competitivamente en la sociedad del conocimiento, se requiere que la economía se base fundamentalmente en ciencia, tecnología, innovación y educación avanzada (*y esto lo entienden bien los países desarrollados*).

Uno de los principales problemas del sector científico y tecnológico mexicano es que siempre está organizado independientemente de los problemas sociales y productivos del país. Esto determina su ineficiencia en la solución de problemas concretos. En este sentido, las políticas que deben introducir la tecnología eólica en el proceso productivo del país (*desde la perspectiva energética*), no han sido acertadas.

La herramienta explicativa más elemental de desarrollo científico y tecnológico de una organización ha sido un triángulo que nos ayude a representar las relaciones que vinculan al Gobierno, a la estructura productiva (*las empresas*), y a la infraestructura científico-tecnológica (*que incluye Instituciones Educativas, Universidades y Centros de Investigación y Desarrollo*). Figura 10.

El eje Gobierno viene a representar el conjunto de roles institucionales que tienen como objetivo formular políticas y movilizar recursos de y hacia los vértices de la estructura productiva y de la infraestructura científico tecnológica, a través de procesos legislativos y administrativos. En lo referente al desarrollo, impulso y promoción de la tecnología eólica, este papel recae en la



Secretaría de Energía pues es el máximo organismo responsable de las políticas energéticas del país (Hidalgo, 1999).

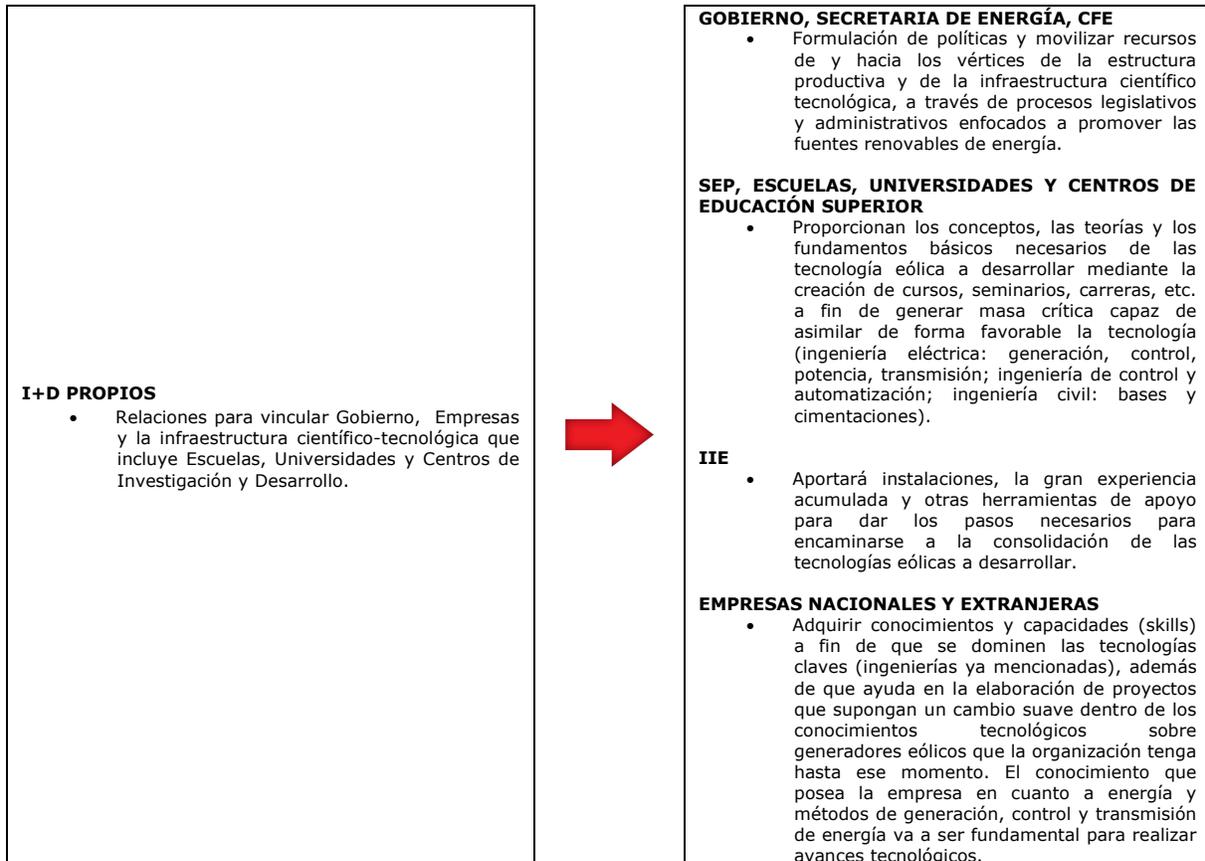


Figura 10. Actores involucrados en I+D al interior de la organización.

Fuente: construcción propia a partir de la información obtenida de Hidalgo (1999) y del análisis realizado en el capítulo V.

El eje Infraestructura, científico- tecnológica, articula los siguientes elementos: sistema educativo, laboratorios, institutos, centros y plantas piloto que nuclea a hombres que realizan investigación, sistema institucional de planificación, de promoción, de coordinación, y de estímulo de la investigación, mecanismos jurídico-administrativo que reglan el funcionamiento de las instituciones, recursos económicos y financieros aplicados a su funcionamiento. La importancia que debe adquirir la Secretaría de Educación Pública (*además de Escuelas e Institutos de Educación autónomos, públicos y/o descentralizados*) para la promoción de conocimientos enfocados a la creación y especialización de técnicos, profesionistas e investigadores a fin de que dominen a fondo los conceptos, las teorías y los fundamentos básicos necesarios de las tecnología eólica a desarrollar mediante la creación de cursos, seminarios, carreras, etc. Como apoyo a la infraestructura científica y tecnológica, el IIE y el CONACyT debe poner en la mesa su experiencia



a fin de poder crear planes de estudios encaminados a la especialización de los conceptos y conocimientos necesarios para el impulso tecnológico de generadores eólicos.

El eje estructura productiva (empresas), es el conjunto de sectores productivos que provee los bienes y servicios a la sociedad. En la estructura productiva, resultan fundamentales los conocimientos y capacidades sobre energía eólica que poseen las distintas áreas de dicha estructura productiva, y su aprovechamiento va a depender, en gran medida, de la cultura organizacional de la firma, generando competencias propias: la cultura corporativa o empresarial constituye una fuente de competitividad muy importante.

Para tener conocimientos y capacidades, es necesario cubrir procesos de aprendizaje (*factores clave para impulsar la innovación*). Involucran el dominio de habilidades y tienden a adquirir un carácter acumulativo y específico de los agentes que la poseen (*skills*), surgiendo la oposición entre conocimiento codificado vs tácito, relacionado con la imposibilidad de transmitir instrucciones que permitan dominar las tecnologías. Evidentemente, el conocimiento que posea la firma, organización, o nación, va a ser fundamental para realizar avances tecnológicos. Así, las firmas que encuentran mejores técnicas se expanden más que otras, lo cual trae aparejadas las brechas entre distintas firmas y naciones.

Un correcto aprendizaje permite desarrollar dos capacidades o competencias: a) Competencia básica; que es el aprendizaje colectivo de la organización, que capacita para coordinar diversas técnicas de producción e integra corrientes tecnológicas. Emanan de la interacción constante entre la propia organización y lo profesionales que en ella desarrollan su labor; y b) Competencia tecnológica; que es la voluntad de ser innovador, de gestionar la tecnología y de darle valor estratégico a la tecnología de la que disponemos. Figura 11.

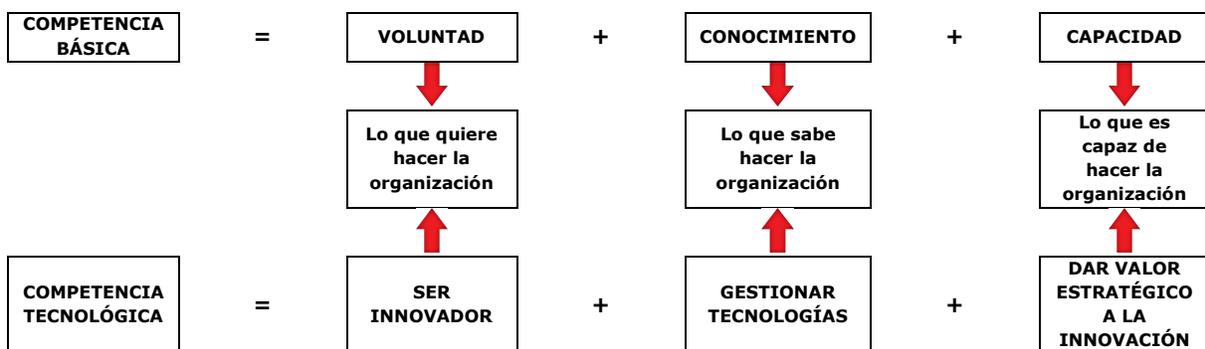


Figura 11. Nociones básicas de las competencias.

Fuente: construcción propia a partir de la información obtenida de Aranda (2005).

El conocimiento elemental sobre las tecnologías que una empresa puede requerir, será proporcionado por las Escuelas e Institutos a través de carreras, cursos de especialización, seminarios, entre otros. La sinergia entre Empresas e Instituciones Educativas es inevitable pues es evidente el desarrollo de una importante variedad de carreras universitarias de ciencias básicas



y aplicadas. Lo anterior aumenta de forma favorable la interacción entre sector científico tecnológico, sector productivo y sistema educativo.

En lo referente a la transferencia de tecnología, más que adquisición de una capacidad productiva, implica la transferencia de una capacidad tecnológica para usar adecuadamente, adaptar y mejorar la tecnología comprada. Por ello todos los esfuerzos de negociación deben orientarse hacia la obtención de los conocimientos y habilidades o destrezas operativas relacionadas con los productos, los procesos y métodos de producción, las máquinas y los equipos, las materias primas e insumos, los métodos de organización de la empresa y el trabajo, y las aplicaciones y uso de los productos.

Otro canal para la transferencia de tecnología extranjera es el know-how de personas. A través de la migración de extranjeros, el retorno de personal técnico y científico emigrado, el entrenamiento de personas por expertos extranjeros, el envío al extranjero de personal en programas de formación a centros educativos o unidades productivas, o mediante acuerdos de revelación de know-how para el uso de conocimientos cuya propiedad no está protegida legalmente, se puede tener acceso a tecnologías sin costos muy significativos. Figura 12.

Los actores para la transferencia de tecnología: SENER, CFE, IIE (*proporcionan los requerimientos necesarios para incorporación de tecnología eólica a México*); SE, SRE (*para establecer acuerdos con empresas y/o países con el fin de obtener conocimientos, habilidades, destrezas operativas, procesos y métodos de producción, máquinas, equipos, materias primas, insumos, métodos de organización, aplicaciones, etc.*); SEP (*Escuelas, Universidades e Institutos de Educación Superior*) para la formación y capacitación de personal.

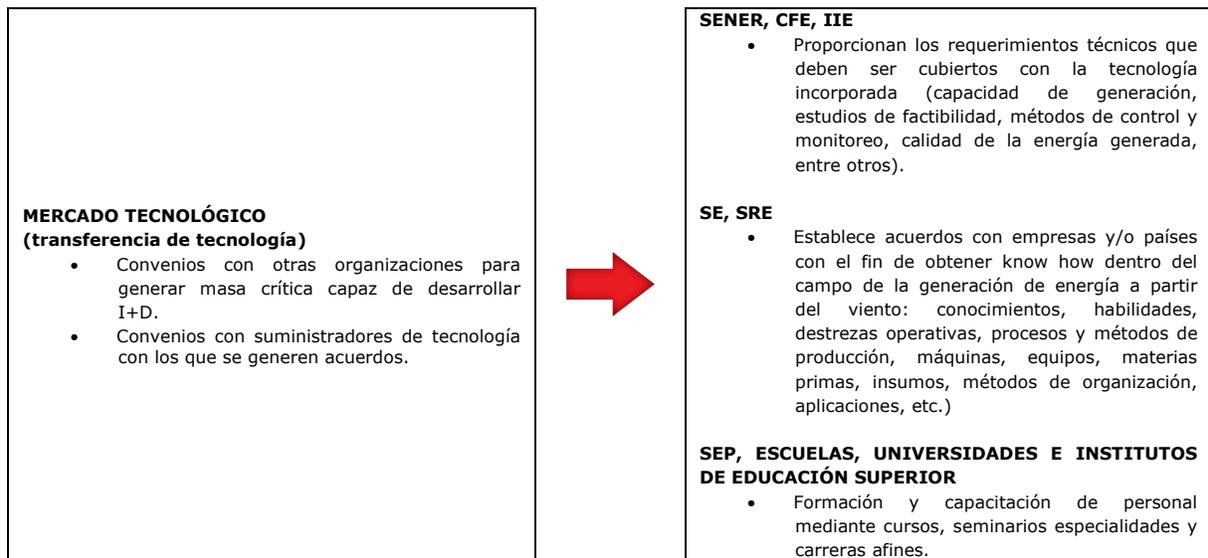


Figura 12. Mercado tecnológico y actores involucrados.

Fuente: construcción propia a partir de la información obtenida de Aranda (2005)



- **IV) Asimilación.** La adquisición de una tecnología no es suficiente. Es necesario que ésta sea asimilada adecuadamente por la organización, lo que implica la formación del personal suficiente para su uso posterior y la adaptación de los procedimientos internos de la organización. Figura 13.

IV ASIMILACIÓN	<p>DOCUMENTACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none">• Preservar y catalogar la información más esencial que se tenga en relación al uso de la tecnología eólica (generación, control y utilización). <p>DIFUSIÓN Y CAPACITACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none">• La difusión de los conocimientos adquiridos permitirá que toda la organización, en sus diferentes rubros, sepa qué hacer.• La capacitación de personal es fundamental para profundizar la asimilación de toda tecnología. <p>ACTUALIZACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none">• Asegura la correcta operación de los generadores eólicos.• Permite acceder a componentes y servicios de última generación.
---------------------------	---

Figura 13. Asimilación de la tecnología.

Fuente: construcción propia a partir de la información obtenida de Valdés (2006)

La asimilación de tecnología es un proceso de aprovechamiento racional y sistemático del conocimiento, por el cual, el que tiene una tecnología, profundiza en su conocimiento, incrementando notablemente su avance en la curva de aprendizaje respecto al tiempo. Los objetivos son: primero, ser competitivos; y segundo, ser capaces de generar optimizaciones que incrementen calidad y productividad. La asimilación de tecnología no es un fin en sí mismo, sino un medio para que las funciones técnicas dirigidas al objetivo de producir un bien o un servicio dentro de una empresa, se realicen lo más eficientemente posible, debido a que cuenta con la mejor información y conocimientos disponibles.

La asimilación de tecnología consta de tres actividades, que son:

- ✓ Documentación
- ✓ Difusión y capacitación
- ✓ Actualización

La documentación debe tener un propósito claro y preciso, ya que es un medio para preservar información que se quiere utilizar. Para esto, es necesario definir con precisión el sistema de generación, utilización y control, para que sirva a los fines propuestos. Los adelantos en sistemas de información permiten acumular y ordenar gran cantidad de información en espacios reducidos, pudiendo rescatarla la inmediatamente a bajo costo.

La segunda etapa de la asimilación tecnológica es la difusión del conocimiento documentado. Para esto, hay que definir qué necesita saber y desarrollar cada paso de la organización, establecer un sistema de comunicación que asegure la comprensión y,



finalmente, establecer un mecanismo de control que verifique como se está cumpliendo el objetivo.

La capacitación de personal en torno al desarrollo, uso y administración de las soluciones promovidas en función de la energía eólica, es fundamental para profundizar la adopción de dicha tecnología (Valdés, 2006).

Cuando el conocimiento ha sido asimilado, se observa que el objetivo ya no está centrado en asimilar el proceso o producto sino en mejorarlo mediante el desarrollo propio de innovaciones basándose en la confianza de que las variables del proceso están bajo control. Ya se conoce el cómo y el por qué de la tecnología.

Como último punto, tenemos la actualización. Sabemos bien que varios de los componentes de un generador eólico cubren un cierto tiempo de vida útil entrando invariablemente en una etapa de obsolescencia. El reemplazo de los mismos puede ser difícil pues llegara un momento en el que ya no se produzcan.

Si llevamos a cabo una actividad continua de actualización, el reemplazo de componentes puede hacerse con equivalentes de última generación que se acoplan a todo el sistema dando como resultado un desempeño eficiente, continuo y económico además de que se consigue una mejoría en la continuidad en la operación (*disminución de fallas*), siempre manteniendo la seguridad para los usuarios.

La actualización tecnológica incluye partes importantes del generador eólico tales como el sistema de generación, control y monitores, sistemas de seguridad y otros que se requieran según sea el caso.

La asimilación tecnológica tiene dos modalidades:

- La asimilación de la operación, que involucra el conocimiento del proceso productivo o del producto a través de la operación diaria (*el registro de eventos, la intervención ante fallas y las tareas diarias que implica la generación eólica*); y
- La asimilación de la ciencia y tecnología contenida en la operación diaria, que involucra el aprendizaje de los principios científicos básicos que conforman la tecnología y el por qué de ésta (*cómo genera, cómo se transforma la energía, cómo se transmite la energía, entre otros*).

Las actividades básicas de la asimilación tecnológica son:

- **Documentación (diagramas, planos, especificaciones, filosofías y secuencias de operación, manuales, procedimientos, métodos, etc.).** La documentación debe ser



clara y precisa ya que es un medio para preservar información que se quiere utilizar. Para esto, es necesario que cada uno de los tres vértices del triángulo de la adquisición tecnológica definan con precisión un sistema de generación, utilización y control, para que sirva a los fines propuestos. Los adelantos tecnológicos en sistemas de información permiten acumular y ordenar gran cantidad de información en espacios reducidos, pudiendo rescatarla inmediatamente sin mayores contratiempos. Figura 14.

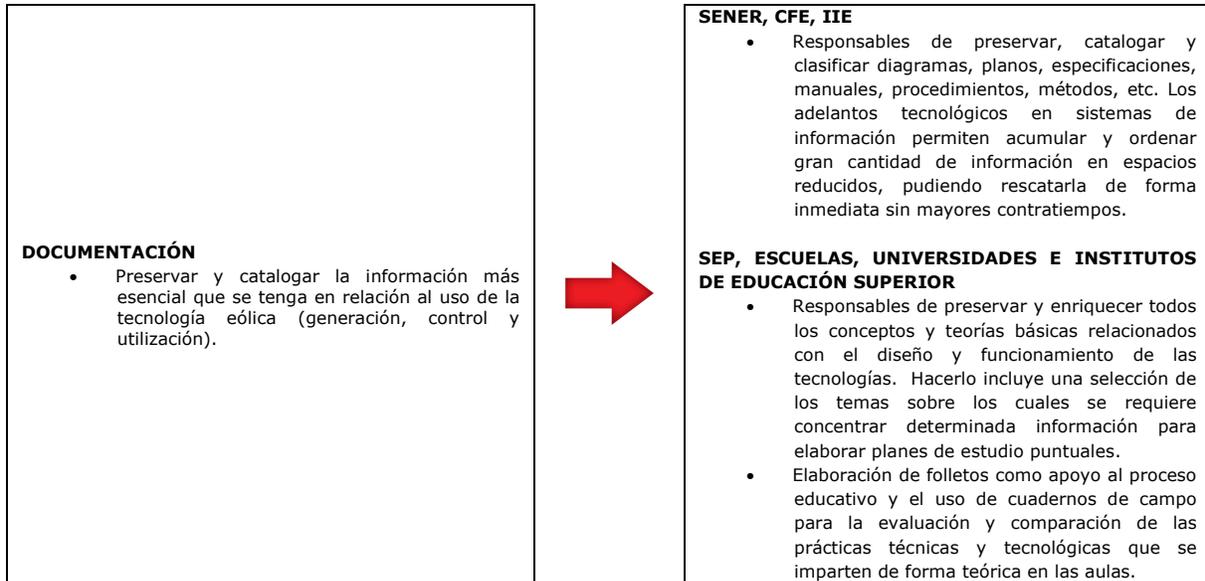


Figura 14. Documentación.

Fuente: construcción propia a partir de la información obtenida de Valdés (2006).

- **Difusión y capacitación.** Como parte del proceso de asimilación de tecnología, es conveniente que la organización capacite al personal que la va a utilizar o que va a interactuar, tarde o temprano, con ella; para ello es conveniente acordar con el proveedor o licenciante de la tecnología eólica un programa de capacitación que tome en cuenta todas las modalidades posibles, presenciales y a distancia, de formación: cursos, seminarios, talleres, conferencias, prácticas en las instalaciones del proveedor, prácticas en las instalaciones del comprador, uso de simuladores de entrenamiento en operación, listas de referencia, estudio de documentación básica, asistencia técnica, etc. Figura 15.

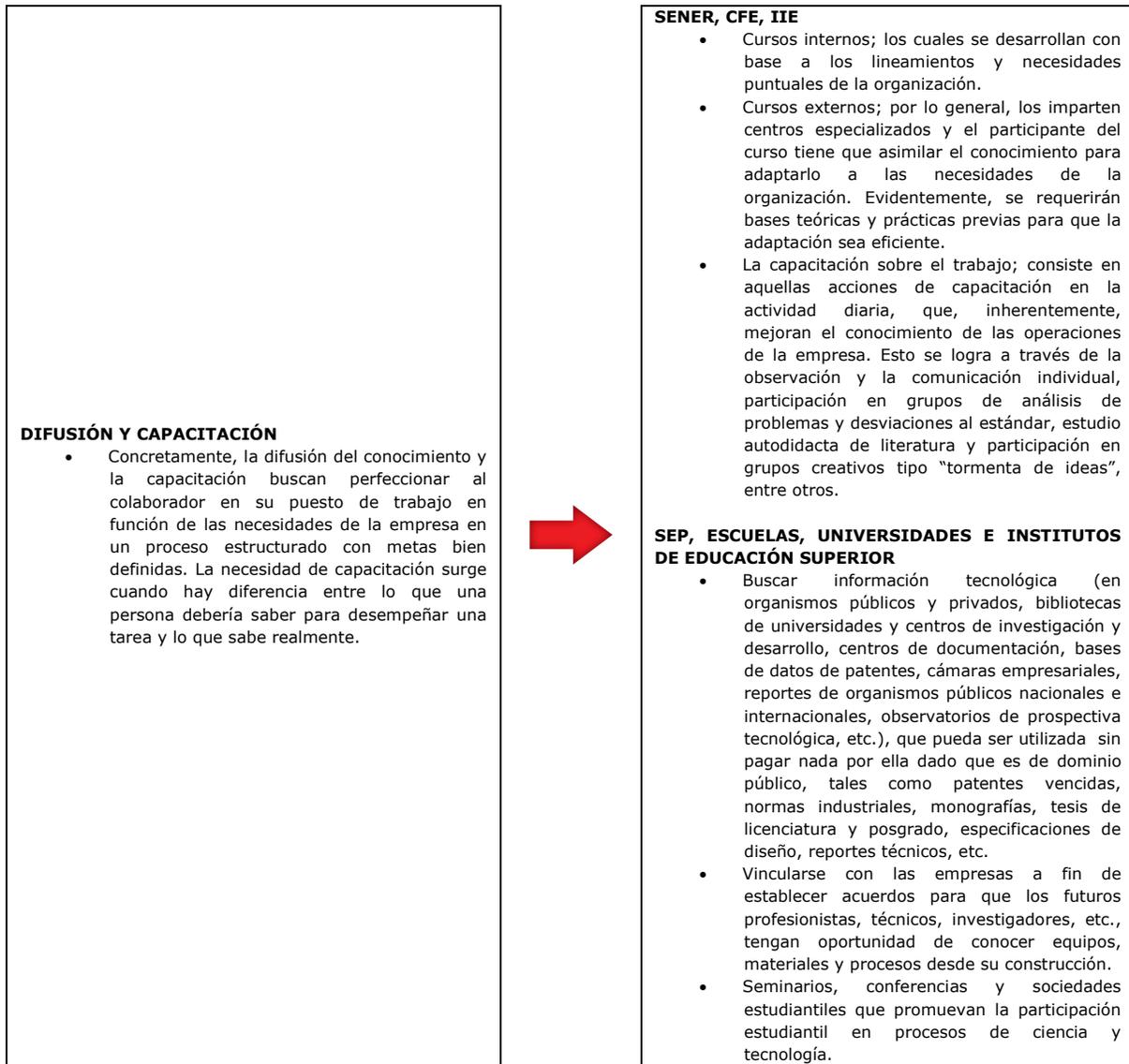


Figura 15. Difusión y capacitación.

Fuente: construcción propia a partir de la información obtenida de Valdés (2006).

Tal y como se aprecia en la figura anterior (figura 15), la capacitación se suele llevar a cabo de diferentes formas, que quedan comprendidas en una de las siguientes:

- **Cursos internos.** Los cuales se desarrollan con base a los lineamientos internos y necesidades puntuales de la organización (*para hablar el mismo lenguaje*).
- **Cursos externos.** Por lo general, los imparten centros especializados (*como ejemplo tenemos a AMDEE*) y el participante del curso tiene que asimilar el



conocimiento para adaptarlo a las necesidades de la organización. Evidentemente, se requerirán bases teóricas y prácticas previas para que la adaptación sea eficiente.

- **La capacitación sobre el trabajo.** Que consiste en aquellas acciones de capacitación en la actividad diaria, que, inherentemente, mejoran el conocimiento de las operaciones de la empresa. Esto se logra a través de la observación y la comunicación individual, participación en grupos de análisis de problemas y desviaciones al estándar, estudio autodidacta de literatura y participación en grupos creativos tipo “tormenta de ideas”, entre otros.
 - **Vinculación con empresas.** Actividad para conocer equipos, materiales y procesos desde su fabricación.
 - **Seminarios y sociedades** (estudiantiles, civiles, profesionales, entre otras).
- **Actualización.** La actualización se debe dar en dos rubros: del personal y del paquete tecnológico. En el primer caso, se le deben facilitar al personal los medios para poder hacerlo: publicaciones periódicas y documentos básicos, asistencia a ferias y congresos técnicos, contacto con proveedores de tecnología, asistencia a cursos y talleres de actualización, participación en redes y asociaciones profesionales nacionales e internacionales. En relación con el segundo rubro, debe diseñarse un plan de revisión anual de los paquetes tecnológicos de la empresa para identificar la situación en que se encuentra la documentación e información tecnológica: novedades, información que ya no se usa o se modificó, información de nuevas tecnologías enviadas por los proveedores, documentos obtenidos en ferias y exposiciones, etc. Figura 16.

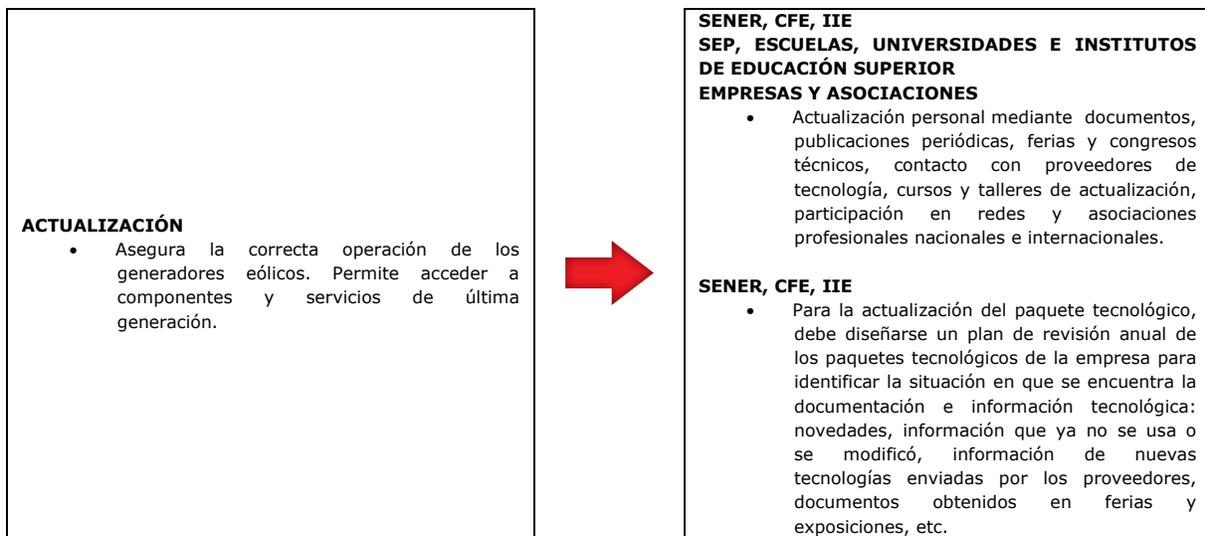


Figura 16. Actualización.

Fuente: construcción propia a partir de la información obtenida de Valdés (2006).



- **V) Utilización.** Finalmente, la tecnología es empleada efectivamente en el proyecto o gama de proyectos para los que se requiera. Figura 17.

V UTILIZACIÓN	EVALUAR LOS RESULTADOS <ul style="list-style-type: none">• ¿Han sido cubiertas las necesidades que se tenían al inicio?• ¿La tecnología se desenvuelve de manera satisfactoria? OPTIMIZACIÓN <ul style="list-style-type: none">• ¿qué podemos hacer para sacarle más provecho a la tecnología eólica asimilada? REEMPLAZO Y/O RETIRO <ul style="list-style-type: none">• Es importante prever escenarios donde deba reemplazarse la tecnología que hoy se está asimilando.
--------------------------	--

Figura 17. Utilización.
Fuente: Universidad de Vigo (2006).

Los proyectos tecnológicos se distinguen de otro tipo de proyectos esencialmente en sus resultados (NMX-GT-002-IMNC-2008). Surgen cuando una organización invierte para obtener el valor potencial de un recurso con fines de innovación. Es decir, que tanto los objetivos como el resultado de todo proyecto tecnológico es el desarrollo y aplicación de una tecnología. Un punto importante a mencionar es que los procesos para llevar a cabo una eficiente de gestión tecnológica no terminan cuando la tecnología es adquirida e incorporada a los proyectos que se ejecuten; como un paso adicional, es necesario evaluar su uso o proceder a optimizaciones (*limitadas muchas veces por las condiciones legales y administrativas de su adquisición*). Por último, en algún momento habrá que tomar la decisión de retirarla por obsolescencia u otros motivos (Universidad de Vigo, 2008).

Hasta aquí podemos concluir que, ante la necesidad de una organización de hacerse de tecnología, es importante crear un plan de gestión tecnológica que considere una serie de pasos que permitan identificar todos los bloques que componen la cadena tecnológica. Al día de hoy, la tecnología juega un papel clave en la construcción y sostenimiento de la competitividad de organizaciones, empresas y países debido a que genera un cambio en las prácticas de gestión empresarial. La búsqueda deliberada y sistemática de tecnología de punta, mejoras e innovaciones, además del uso intensivo del conocimiento, son factores dominantes y responsables que están promoviendo a la gestión tecnológica como la función motora e integradora de las estrategias de desarrollo organizacional en empresas, países, etc.

Al momento de entrar en la etapa de utilización, se hace imprescindible el medir los resultados de las tecnologías adquiridas y asimiladas. Corresponderá entonces evaluar los resultados con base a las prioridades asentadas al momento de seleccionar la tecnología adecuada. Figura 18.

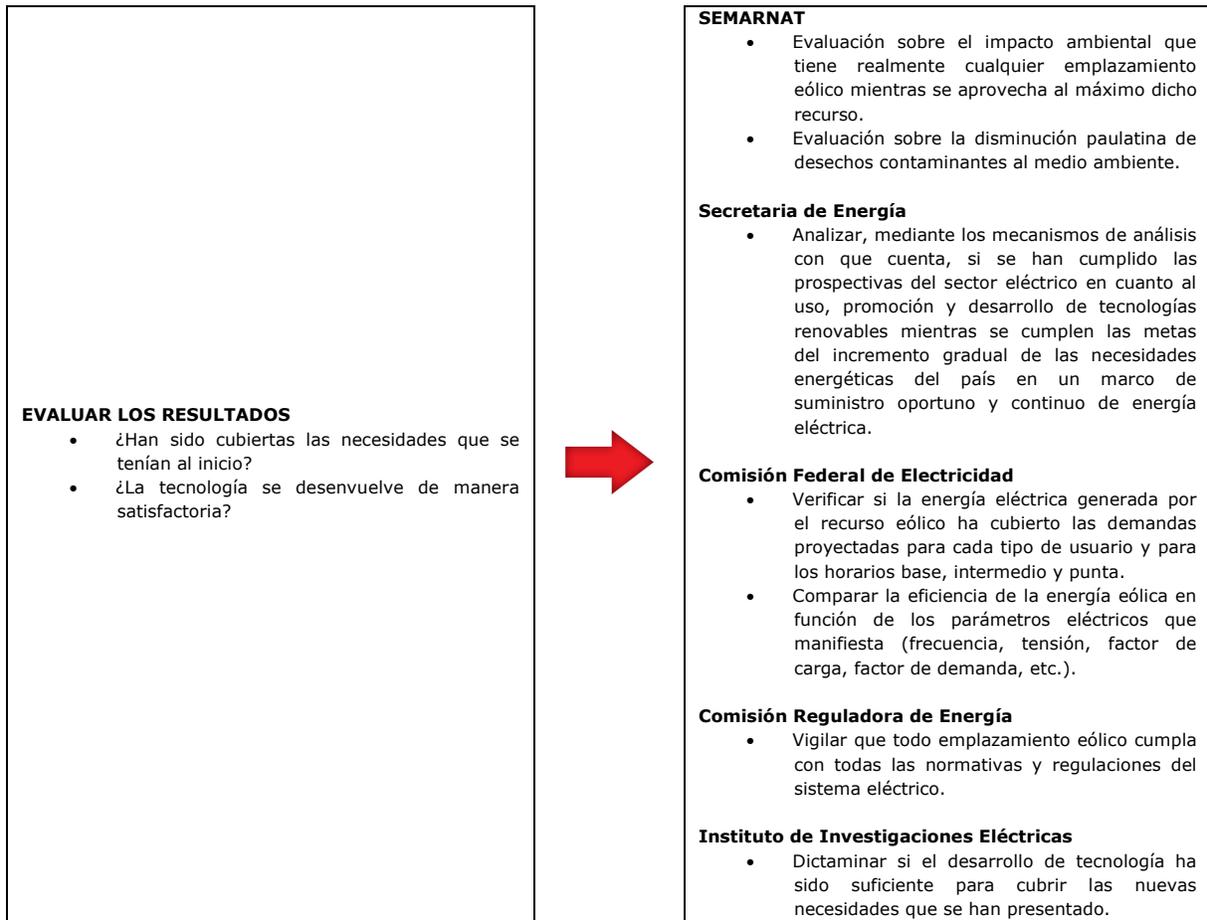


Figura 18. Evaluación de los resultados.

Fuente: Construcción propia a partir de los datos de la Universidad de Vigo (2006).

Ahora bien, ¿es posible optimizar la tecnología eólica que ya forma parte de la organización?

Es posible si previamente se hace un análisis de la situación actual de la plataforma tecnológica y se identifican las áreas que pueden ser objetivo potencial de mejoras o bien, objetivo potencial de problemas. Figura 19.

La recomendación es, entonces, mantener siempre un estrecho contacto con las nuevas tendencias en tecnología a fin de obtener soluciones que potencien la infraestructura actual y permitan maximizar los recursos, basados en planes futuros y estrategias de negocios formulados a partir de las tendencias tecnológicas mencionadas anteriormente (*métodos de producción, métodos de instalación, materiales para fabricación y nuevos modelos*).



Otros aspectos importantes a considerar en la optimización de la tecnología eólica son, por un lado, el uso de equipo eléctrico eficiente para hacer más eficiente el sistema a la vez que se reducen costos en la producción energía eléctrica. Por otra parte, si se detectan los puntos más importantes que deben atenderse en tareas de mantenimiento, es posible reducir costos de mantenimiento mientras que, de forma paralela, se incrementan los tiempos productivos.

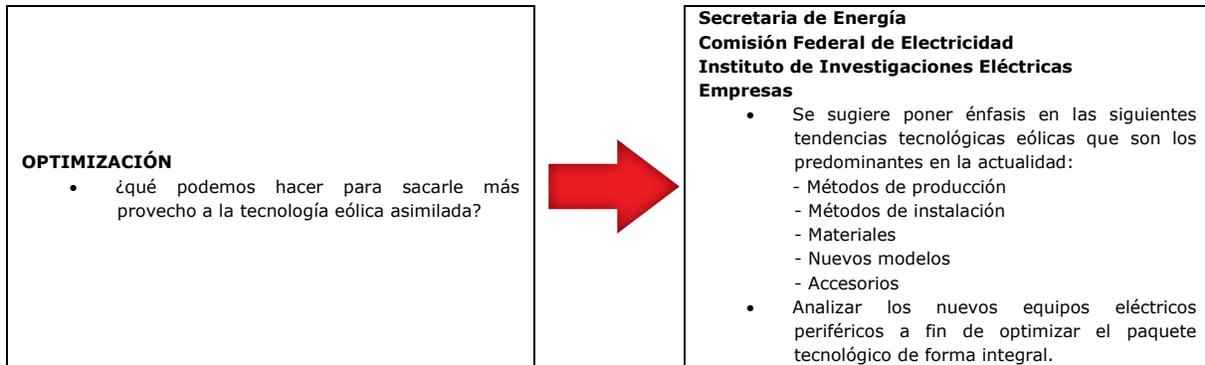


Figura 19. Optimización.

Fuente: Construcción propia a partir de los datos de la Universidad de Vigo (2006).

¿En cuántos años se debe reemplazado y/o retirado un generador eólico?

Un análisis de reemplazo sirve para averiguar si un equipo está operando de manera económica o si los costos de operación pueden disminuirse, adquiriendo un nuevo equipo. Además de lo anterior, mediante este análisis se puede averiguar si el equipo actual debe ser reemplazado de inmediato o es mejor esperar unos años, antes de cambiarlo.

Hay tres causas básicas por las cuales un equipo (*en este caso, la tecnología eólica*) debe ser reemplazado: cuando resulta insuficiente para cubrir las necesidades para las cuales fue adquirido (*no es posible cubrir las necesidades energéticas*); cuando sus costos de mantenimientos resultan excesivos (factor que va directamente relacionado con la vida útil del equipo; del orden de los 20 años); y cuando entra en una etapa de obsolescencia (*cuando partes, módulos y sistemas ya han sido rebasados por nuevas soluciones tecnológicas*).

Por lo anterior, resulta importante entonces, fijar horizontes prospectivos que permitan delimitar fronteras entre servicios mantenimiento eficientes y la necesidad de cambiar de generadores. La frontera entre ambas posibilidades es un factor determinante al momento de tomar una decisión sobre el reemplazo y que debe ser forzosamente considerado dentro del horizonte de planeación proyectado. Figura 20.

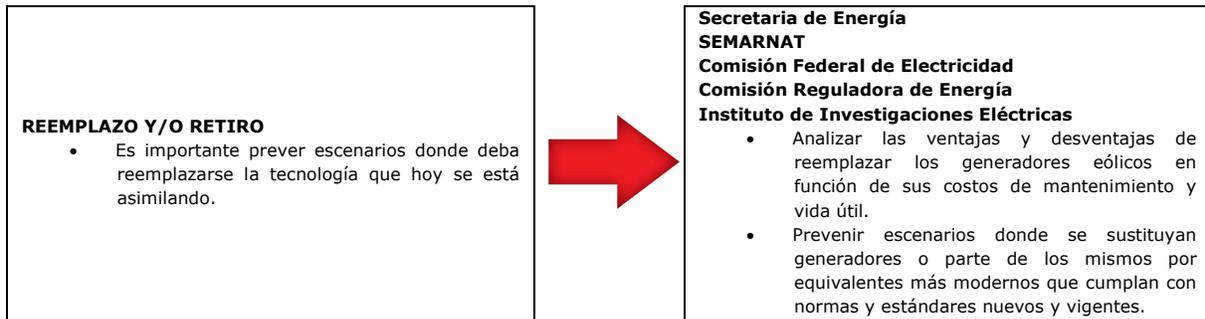


Figura 20. Reemplazo y/o retiro.

Fuente: Construcción propia a partir de los datos de la Universidad de Vigo (2006).

Todo el proceso de gestión del recurso tecnológico mostrado no puede estar completo sin una capa integral que cubra a todos los pasos descritos. Esa capa integral no es otra cosa que una vigilancia tecnológica del entorno.

Entiéndase ese concepto como un proceso organizado y permanente para captar información del exterior y de la propia organización sobre ciencia y tecnología a fin de seleccionarla, analizarla, difundirla, comunicarla y darle seguimiento en todas las etapas de la gestión tecnológica con el objetivo de convertir dicha información en conocimiento para tomar decisiones con menor riesgo y así poder anticiparse a los cambios⁽⁷⁾.

En un entorno global cambiante en el que las competencias y el continuo proceso de innovación forman parte del acontecer de las organizaciones se hace necesario para su supervivencia conocer de primera mano todas las actuaciones y alertas que acontecen en el sector de actividad de las organizaciones.

La tarea de vigilancia tecnológica, aunque es una actividad que debe darse de forma implícita en cada paso, debe atribuirse a un actor que tome las riendas de todo el proceso de gestión tecnológica. No es fácil darle esa tarea a alguna cabeza de sector mexicano (Secretarías de Estado), pues su misma naturaleza y estructura vertical impiden moverse con libertad dentro de la gestión tecnológica.

(7) La vigilancia tecnológica del entorno tecnológico, además de estar fuertemente ligada a un diagnóstico, se da en función de tres elementos básicos: 1) la evolución temporal que ha tenido el uso de la tecnología eólica presente en la organización y en un determinado periodo de tiempo (generalmente referido a todas las tecnologías de generación empleadas hasta el momento por la organización); 2) la situación relativa con respecto a los competidores tanto en las tecnologías empleadas (aunque no suelen existir grandes diferencias) como en la forma en la que éstas se utilizan (mejores prácticas de uso); y 3) la adecuación a los objetivos concretos relacionados con los productos, procesos o servicios a los que se dedica la organización (Valdés, 2005).



Una buena vigilancia tecnológica debe permitir conocer:

- Las tecnologías en que se está investigando (*publicando o patentando*) ya sea al interior de la organización o bien, en el exterior (*otros países, empresas, centros de investigación externos a la organización, otras organizaciones, etc.*).
- Las soluciones tecnológicas disponibles ya en el mercado tecnológico o bien, que se estén desarrollando de forma interna.
- Las tecnologías emergentes que están apareciendo.
- Las dinámicas y las tendencias tecnológicas a nivel global a fin de conocer qué tecnologías se están imponiendo y cuáles se están quedando obsoletas.
- Las líneas de investigación y las trayectorias tecnológicas de las principales empresas que compiten en el área.
- Identificar Centros de investigación, empresas, equipos y capital humano líderes que sean capaces de generar nuevas tecnologías o bien, de transferirlas.

Con base a los datos anteriores, el mando de la gestión tecnológica, y por lo tanto, la tarea de vigilancia tecnológica debe recaer en el CONACyT⁽⁸⁾. Figura 21.

(8) El CONACyT, afortunadamente, no es un organismo centralizado. Al día de hoy, cuenta con instalaciones y la participación de actores provenientes de diferentes instituciones y origen profesional multidisciplinario en prácticamente todos los estados, convirtiéndolo de facto en el primer sistema nacional de ciencia y tecnología del país (Aranda, 2005).

La ciencia que se realiza en el centro del país es ahora vista y evaluada por científicos comprometidos con el desarrollo regional ubicados en los modestos centros, en los diferentes estados del país. Seguramente la ciencia mexicana crecerá a una velocidad mucho mayor que la que preveía con el modelo del centralismo científico del país, y se avanzará en el establecimiento del ya anunciado Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.

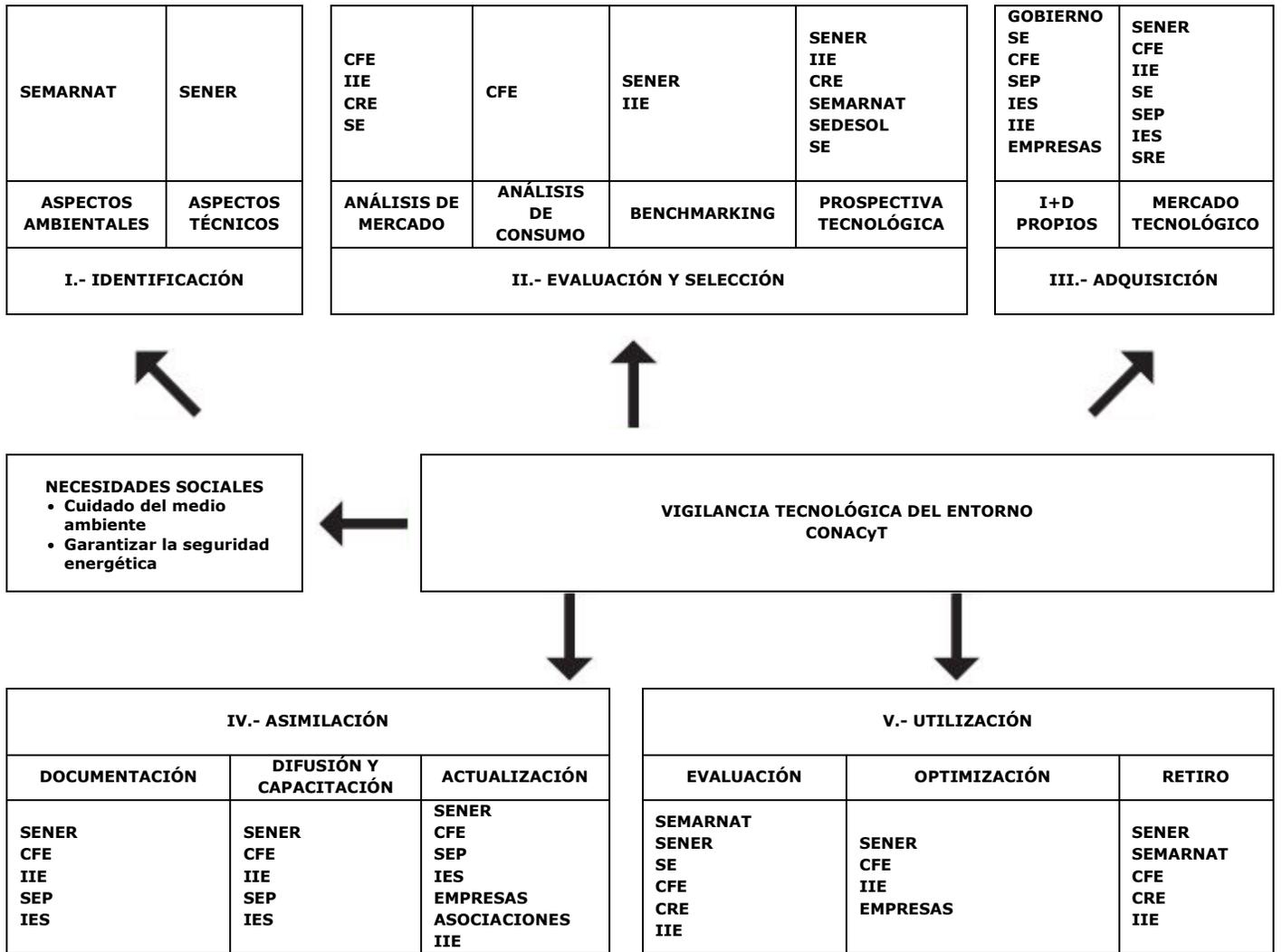


Figura 21. Vigilancia tecnológica de todo el entorno organizacional.
Fuente: Construcción propia a partir de los conceptos de Valdés (2005).



CONCLUSIONES

La gestión tecnológica es un factor muy importante que hace posible la competitividad de las organizaciones. La gestión tecnológica, cuando se realiza a través de una serie de procesos bien delimitados, puede ofrecer soluciones de forma eficiente a las necesidades de una sociedad, empresa, organización, país, etc.

El direccionamiento estratégico necesario para orientar de forma exitosa la necesidad de buscar fuentes alternas para generar energía eléctrica -tal es el caso de la generación de energía a partir del recurso eólico-, mientras de forma simultánea se desplazan gradualmente los combustibles fósiles, será posible siempre cuando se coordinen adecuadamente los actores involucrados a fin de trazar objetivos y metas perfectamente delimitados y delegados. El sustento de la gestión tecnológica exitosa se basa en la integración de todos los procesos organizacionales que posee cada actor en particular; si la integración es sólida y da los resultados esperados en los tiempos establecidos, el esfuerzo conjunto deriva en un armónico y sincronizado manejo de los recursos al interior de la organización permitiendo la generación de iniciativas como dominio estratégico.

Tomando en cuenta que el sector energético de cualquier país es un pilar fundamental para el desarrollo del mismo, el rumbo de la gestión tecnológica enfocada a la modernización, la seguridad y la eficiencia energéticas en México debe estar fundamentado en objetivos que permitan alcanzar ese desarrollo mientras se enriquecen las experiencias técnicas y tecnológicas al interior de los diferentes actores involucrados ya visualizados.

Aunque resulta obvio el hecho de que ya es impostergable cambiar el rumbo del sector energético, ni el plan prospectivo ni el ejercicio de gestión tecnológica se van a aplicar solos. Una propuesta que resulta fundamental es que, para empezar a dar los primeros pasos en el largo camino hacia el progreso, ha de establecerse, antes que nada, el estado actual del sector eólico mexicano (*tanto en la infraestructura como en el marco regulatorio*), a fin de tener una visión exacta del mismo. Una vez que se tenga toda la información al respecto, han de empezar a medirse y a cuantificarse los beneficios que deriven de la utilización de esta tecnología en los planos social, ambiental y técnico-energético. Es importante tener un alto nivel de interacción entre los diferentes actores del sector eólico a fin de recoger las inquietudes y perspectivas individuales además de que se aseguraría su integración en una única visión consensuada.

Menuda oportunidad si se toma en cuenta que, para la tecnología eólica, aún se esperan incrementos considerables en las eficiencias y reducciones en los costos como obvia consecuencia de las curvas de aprendizaje en las que actualmente se encuentra inmersa.

¿Puede hacerse algo más mientras se estudia el estado actual del sector eólico?

Por supuesto.

El sector energético mexicano (*SENER y demás dependencias satélites*), han de empezar la promoción de una nueva capacidad de transmisión dentro de la Red Eléctrica Nacional a fin de



dejar preparaciones para el aprovechamiento de energías verdes y no sólo de aquella que podemos obtener del recurso eólico. De esta forma, se pueden ir definiendo y creando los mecanismos regulatorios y técnicos necesarios para garantizar que los objetivos de capacidad de transmisión y generación pendientes de licitar por parte de la CFE se lleven a cabo en los plazos necesarios en la prospectiva del sector eléctrico.

En conclusión, la ejecución de estas acciones permitiría iniciar el desarrollo definitivo de la industria eólica en México, reduciendo los costos de generación y aportando beneficios socioeconómicos palpables una vez que se empiecen a concretar las etapas del plan prospectivo reforzadas por la gestión tecnológica adecuada.

México hoy tiene enfrente el gran reto que la gestión tecnológica representa. Está en manos de los distintos actores dar los pasos necesarios a fin de emprender un camino largo que va más allá de aspectos técnicos y de organización. Los cambios culturales y de mentalidad frente a las necesidades actuales van a ser generadores de riqueza en muchos sentidos dentro de nuestro entorno; mismos que resultan relevantes para el desarrollo y funcionamiento de nuestra existencia.



BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE CONSULTA

ABB (2012). Cuaderno de aplicaciones técnicas no. 12: Plantas eólicas.

Recuperado el 11 de agosto de 2012 de:

[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/ac764cb1be081128c1257a30003c70d7/\\$file/Cuaderno%20Tecnico_num%2012_Plantas%20eolicas.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/ac764cb1be081128c1257a30003c70d7/$file/Cuaderno%20Tecnico_num%2012_Plantas%20eolicas.pdf)

Agencia Internacional de Energía (2012). World Energy Outlook 2011

Recuperado el 14 de septiembre de 2012 de:

http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2011_WEB.pdf

Al-Invest (2011). Sector de las Energías Renovables en Alemania.

Recuperado el 14 de diciembre de 2012 de:

<http://www.al-invest4.eu/minisite/renovables/alemania/alemania5.1.html>

Álvarez, Clemente (2006). Energía eólica. España. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

André, Francisco Javier (2009). Las energías renovables en el ámbito internacional. Universidad Complutense de Madrid.

Recuperado el 29 de julio de 2013 de:

http://www.revistasice.com/cachepdf/cice_83___810091ecbb9ffcf682fdfe12c77fab6d.pdf

Aranda Ogayar, Manuel (2005). La tecnología como recurso estratégico. Documento técnico del Departamento de Administración de empresas, contabilidad y Sociología. Universidad de Jaén.

Recuperado el 20 de febrero de 2014 de:

<http://www4.ujaen.es/~mogayar/documentos/proyeccion%20tema1.pdf>

Aranda Ogayar, Manuel (2005). La estrategia de innovación tecnológica. Documento técnico del Departamento de Administración de empresas, contabilidad y Sociología. Universidad de Jaén.

Recuperado el 20 de marzo de 2014 de:

<http://www4.ujaen.es/~mogayar/documentos/proyeccion%20tema2.pdf>

Asociación Empresarial Eólica (2009). Planes industriales.

Recuperado el 19 de agosto de 2012 de:

http://www.tech4cdm.com/userfiles/Sesion3_eol_per_Desarrollos_industriales_ligados_a_eolica.pdf

Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (2010). Desafíos en la implementación de proyectos de energía eólica en México.

Recuperado el 22 de diciembre de 2012 de:

http://www.aida-americas.org/sites/default/files/caso%20del%20Istmo%20paraCOP18_0.pdf



Asociación Mexicana de energía eólica (2011). Panorama general de la energía eólica en México.

Recuperado el 21 de octubre de 2012 de:

<http://amdee.org/Proyectos/AMDEE%20Presentacin%20en%20Espaol%202011.pdf>

Barrero F., Antonio (2013). Estados Unidos cierra 2012 como el mejor año eólico de su historia. Revista Energías renovables. pp. 34-38.

Bellido, Félix (2012). Gestión de la tecnología. Documento técnico de la Escuela de Organización Industrial.

Recuperado el 03 de marzo de 2014 de:

http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:80098/EOI_GestionTecnolog_2012.pdf

Biechl, Helmuth (2008). La energía eólica en Alemania: experiencias a tener en cuenta para el caso colombiano. Revista Investigaciones Aplicadas No. 4. pp. 49-60. Universidad Pontificia Bolivariana.

British Petroleum (2012). BP Statistical Review of World Energy 2012.

Recuperado el 05 de septiembre de 2012 de:

http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Statistical-Review-2012/statistical_review_of_world_energy_2012.pdf

CAF (2009). Los contratos llave en mano. Taller seminario C.A.F

Recuperado el 05 de marzo de 2014 de:

<http://www.caf.com/media/3304/Conferenciasobrecontratosllaveenmano%28bolivia%29.pdf>

Castro Soto, Gustavo (2007). Radiografía de la electricidad en México. México. Edupaz Chiapas.

CEGESTI (2005). Manual de transferencia y adquisición de tecnologías sostenibles. Documento técnico para la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).

Recuperado el 07 de marzo de 2014 de:

http://www.elfinancierocr.com/biblioteca/Manual-Transferencia-Adquisicion-Tecnologias-Sostenibles_ELFFIL20130731_0043.pdf

Cimoli, M. García, B. Garrido, C (2005). El camino latinoamericano hacia la competitividad.

Siglo XXI, UAM, División de Ciencias Sociales y Humanidades.

Capra, A.S. (2010). La conciencia del ambiente en el mundo. Revista Energía Nuclear Hoy. 3. pp. 34.

Carrillo Aguado, José Luis (2010). La importancia de la crisis del petróleo mexicano y la reforma energética. Revista Conversus. IPN.



Cavanna, Luis Alberto (2008). Estudio de impacto ambiental: Central eólica Gastre.
Recuperado el 19 de enero de 2013 de:
http://www.chubut.gov.ar/ambiente/imagenes/EsIA_CEG_03_Datos_generales.pdf

Castillo Jara, Emiliano (2011). Inequidad en torno al uso de la energía eólica en México.
Recuperado el 03 de enero de 2013 de:
<http://geic.files.wordpress.com/2011/08/ai-017-2011.pdf>

Danish Wind Industry Association (2012). Información de los recursos de energía eólica y tecnología de turbina de viento.
Recuperado el 24 de junio de 2012 de:
<http://www.windpower.org/>

De Eguren Córdoba, Iñigo (2012). ¿Cómo beneficia la eólica Offshore al sistema energético español, y como afecta a los ecosistemas?
Recuperado el 29 de enero de 2013 de:
http://www.gaztelueta.com/demo/modulos/Gaztelueta/bi/docs/monografias/EE_55_SISTMEDIOAM B_I%C3%B1igoEguren.pdf

De Las Fuentes Lacavex, Gloria Aurora (2010). La protección del medio ambiente y las comunidades indígenas.
Recuperado el 08 de enero de 2013 de:
http://www.ecoportel.net/Temas_Especiales/Pueblos_Indigenas/la_proteccion_del_medio_ambiente_y_las_comunidades_indigenas

Del Mazo Maza, Alejandro (2013). Reflexionar y actuar, claves para preservar el Medio Ambiente.
Recuperado el 08 de enero de 2013 de:
<http://mexico.cnn.com/opinion/2013/06/05/opinion-reflexionar-y-actuar-claves-para-preservar-el-medio-ambiente>

EIA (2009). Descripción de proyecto Parque Eólico El Arrayán. Anexo 7.1. Plan de Manejo de Flora y Vegetación
Recuperado el 19 de enero de 2013 de:
http://www.e-seia.cl/archivos/Anexo_7_1_Plan_de_manejo_de_flora_y_vegetacion.pdf

Esquivel, Eduardo. (2013) La Reforma energética de México vista por el analista Clifford Krauss.
Recuperado el 16 de agosto del 2013 de:
<http://www.sdpnoticias.com/columnas/2013/08/16/la-reforma-energetica-de-mexico-vista-por-el-analista-clifford-krauss>

European Patent Office (2012). Espacenet (EPO patent search)
Recuperado el 02 de Octubre del 2012 de:
<http://www.epo.org/searching/free/espacenet.html>



Enerdata (2012). Global Energy Statistical Yearbook 2011

Recuperado el 01 de abril del 2013 de:

<http://yearbook.enerdata.net/>

Esteban Pérez, María Dolores (2009). Propuesta de una metodología para la implantación de parques eólicos offshore. Tesis doctoral. Madrid. Universidad politécnica – Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Recuperado el 29 de agosto de 2012 de:

http://oa.upm.es/2016/1/MARIA_DOLORES_ESTEBAN_PEREZ.pdf

Evoli, Jeftee (2010). Planificación estratégica: modelos, técnicas y procesos.

Recuperado el 15 de enero de 2013 de:

http://cursos.campusvirtualsp.org/pluginfile.php/15610/mod_folder/content/1/Gerencia_y_Administracion/Gestion_Estrategica/Planificacion_estrategica._Modelos_tecnicas_y_procesos.pdf?forcedownload=1

Erosa y Arroyo (2007). Administración de la tecnología. Nueva fuente de creación de valor para las organizaciones. México. LIMUSA.

Escorsa, P y Valls, J. (2006). Tecnología e innovación en la empresa. México. Alfaomega.

Escudero López, José María (2008). Manual de energía eólica. España. EDC Mundi Prensa.

Fernández Díez, Pedro (2007). Energía eólica.

Recuperado el 26 de junio de 2012 de:

<http://es.pfernandezdiez.es/index.php?pageID=16>

Fouquet, R. (2009) A brief history of energy, en J. Evans y L .C. Hunt (eds.), International Handbook of the Economics of Energy, Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing, p. 1-19.

GAMESA (2012). Página web de Gamesa; fabricante de aerogeneradores.

Recuperado el 11 de agosto de 2012 de:

www.gamesacorp.com/es/productos-servicios/aerogeneradores, 2012

Garduño Ramírez, Raúl (2011). Aerogeneradores en la era de la energía eólica en México.

Recuperado el 28 de noviembre de 2012 de:

http://hypatia.morelos.gob.mx/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=795

Garralda Ruiz, Joaquín (2013). La cadena de valor.

Recuperado el 29 de julio de 2013 de:

<http://openmultimedia.ie.edu/OpenProducts/cdv/cdv/Cadena%20de%20valor.pdf>

Gil, S. (2009). Revista Petrotecnia. pp. 80-84.



Glynn, J. Henry (1999). Ingeniería ambiental. (2da edición) México. Pearson Educación.

Global Wind Energy Council (2012). Global Wind Statistics 2012.

Recuperado el 13 de septiembre de:

http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2013/02/GWEC-PRstats-2012_english.pdf

Gómez Jiménez, David (2012). Situación de la energía eólica en Estados Unidos

Recuperado el 11 de noviembre de 2012 de:

http://www.energyoutofthebox.com/wp-content/uploads/2012/09/P%C3%A1ginas-de-Revista_COIIM_57.pdf.

Gómez Rocha, Luis Martín (2001). Aspectos relevantes de energía eólica "Windpower 2001". México. Comisión Nacional para el ahorro de energía.

González Monfort, Vicente (2007). Curso de energía eólica: la energía eólica.

Recuperado el 26 de junio de 2012 de:

http://www.escolaendesa.com/pdf/2_principios%20de%20la%20energia%20e%c3%93lica.pdf

González Rodríguez, José de Jesús (2010). Sector privado y generación de energía eléctrica.

Documento de Trabajo núm. 88. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública

Gutiérrez Andrade, Rosalba (2009). La generación de energía eólica, el caso del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México.

Recuperado el 03 de enero de 2013 de:

<http://www.chapingo.mx/sociologia/rae/rae/ae8/ae8-5.pdf>

Hansen, James E. (1988). Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model.

Recuperado el 04 de septiembre de 2012 de:

http://eaps4.mit.edu/research/papers/JGR93_9341.pdf

Herrero Ingelmo, J. L. (2006). El léxico mitológico en la Edad media y en el Renacimiento. Revista del Centro de Estudios Medievales y Renacentistas. 14. pp. 167-186.

Hidalgo Nuchera, Antonio (1999). La gestión de la tecnología como factor estratégico de la competitividad industrial. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.

Recuperado el 07 de marzo de 2014 de:

<http://www.minetur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/330/08ahid.pdf>

IEA (International Energy Agency) (2011). World Energy Outlook 2011, OECD / IEA, París.



IEA (International Energy Agency) (2011). Deploying Renewables. Best and Future Policy Practice, OECD/IEA, Paris.

IEA (Internacional Energy Agency) (2011). Key World Energy Statistics, OECD/IEA, París.

International Standard IEC 61400-1 (2008). Wind turbines – Part 1: Design requirements

International Standard ISO 14006 (2011). Environmental management systems: Guidelines for incorporating ecodesign

Instituto Tecnológico Superior de Calkiní (2008). Conceptos básicos sobre planeación.

Recuperado el 27 de febrero de 2014 de:

www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r14284.PPT

Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). Fourth Assessment Report: Climate Change.

Recuperado el 21 de agosto de 2012 de:

http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf

International Renewable Energy Agency (2012). Renewable Power Generation Costs in 2012: An Overview.

Recuperado el 28 de agosto de 2012 de:

http://irena.org/DocumentDownloads/Publications/Overview_Renewable%20Power%20Generation%20Costs%20in%202012.pdf

IPCC (2012). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Technical Support Unit Working Group III Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK). Cambridge University Press.

Jaramillo Salgado, Oscar A. (2008)- Energía eólica. Documento técnico del Centro de investigación en energía, UNAM.

Recuperado el 19 de agosto de 2012 de:

<http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Presentaciones/Viento.pdf>

Jiménez W., Andrea (2011). El mundo organizacional.

Recuperado el 21 de febrero de 2014 de:

<http://eapucr.blogspot.mx/2013/05/el-mundo-organizacional.html>

Klaassen, G. (2005)- The impact of R&D on innovation for wind energy in Denmark, Germany and The United Kingdom. Ecological Economics. 54. pp. 227-240.

Kleemann Esparza, Michelle (2008). La Participación de la OPEP en la crisis petrolera de 1973.

Recuperado el 11 de agosto de 2012 de:

<http://debate.iteso.mx/numero%2022/Michelle%20Isabel%20Cesar/Michelle%20Isabel%20Cesar.pdf>



Lara Beautell, Cristóbal (1953). La industria de energía eléctrica. México. Fondo de Cultura Económica.

Llanos, C. y Represa, J. (2001). Campos electromagnéticos y salud pública.
Recuperado el 24 de enero de 2013 de:
http://www.euitt.upm.es/estaticos/catedra-coitt/web_salud_medioamb/seminario_cancer/documentacion/MS1.PDF

López Bárcenas, Francisco (2012). Empresas eólicas y derechos de los pueblos en el istmo de Tehuantepec.
Recuperado el 06 de enero de 2013 de:
<http://desinformemonos.org/2012/12/empresas-eolicas-y-derechos-de-los-pueblos-en-el-istmo-de-tehuantepec-la-jornada-15-de-diciembre/print/>

Lorenzo Rodríguez, Pedro Felipe (2008). Las tecnologías como herramienta para el desarrollo local. Documento técnico.
Recuperado el 05 de marzo de 2014 de:
http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:80098/EOI_GestionTecnolog_2012.pdf

Marichal, Carlos (1995). Las inversiones extranjeras en América Latina 1850-1930: Nuevos debates y problemas en historia económica comparada. México. El Colegio de México-FCE.

Martínez Ibáñez, E. (2002). Yom Kippur y la crisis de 1973.
Recuperado el 03 de agosto de 2012 de:
<http://perseo.sabuco.com/historia/Yom%20Kippur.pdf>

Martínez Palacio, Álvaro (2012). La energía eólica offshore. Realidad presente y futuro prometedor
Recuperado el 11 de noviembre de 2012 de:
http://www.cronicaeconomica.com/articulo_imprimir.asp?idarticulo=52150&accion=

Mattio, Héctor Fernando. (2009) Recomendaciones para mediciones de velocidad y dirección de viento con fines de generación eléctrica y medición de potencia eléctrica generada por aerogeneradores.
Recuperado el 14 de febrero de 2013 de:
http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/accion_viento/Recomendaciones_Mediciones_de_Viento.pdf

MEASNET (2009). Anemometer Calibration Procedure.
Recuperado el 14 de febrero de 2013 de:
http://www.measnet.com/wp-content/uploads/2011/06/measnet_anemometer_calibration_v2_oct_2009.pdf

Moreno, B. y López, A. J. (2008). The effects of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain). Renewable & Sustainable Energy Reviews, vol. 12, pp. 732-751.



Naciones Unidas (1998). Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Documento técnico.

Recuperado el 02 de marzo de 2012 de:

<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Naciones Unidas (2002). World Population Ageing 1950-2050

Recuperado el 02 de marzo de 2012 de:

<http://www.un.org/esa/population/publications/worldageing19502050/>

National Renewable Energy Laboratory (2013). Información sobre innovación en eficiencia energética y energías renovables.

Recuperado el 03 de marzo de 2013 de:

<http://www.nrel.gov/>

Pasquevich, Daniel M. (2012). La creciente demanda mundial de energía frente a los riesgos ambientales.

Recuperado el 15 de agosto de 2012 de:

http://www2.cab.cnea.gov.ar/ieds/extras/actividades/2012/art_dp_crec_dem_e.pdf

REN21 (2011). Renewables 2011: Global status report. Disponible en www.ren21.net.

Resendiz-Núñez, Daniel (1994). El sector eléctrico de México. México. Comisión Federal de Electricidad / Fondo de Cultura Económica.

Regueiro Ferreira, Rosa María (2011). Implicaciones ambientales de la instalación de parques eólicos: análisis normativo y económico en diferentes países productores.

Recuperado el 16 de noviembre de 2012 de:

<http://xivrem.ujaen.es/wp-content/uploads/2011/11/22-R-087M802.pdf>

Rivera Salinas, Carlos (2011). Tecnologías Verdes para la Vivienda Sustentable y Vivienda Energía Cero. México. Asociación de Empresas para el Ahorro de la Energía en la Edificación, A.C.

Riquelme Poblete, Rafael Ignacio (2010). Evaluación técnico económica de la instalación de parques eólicos offshore en Chile.

Recuperado el 06 de enero de 2013 de:

http://dspace.utralca.cl/bitstream/1950/8307/2/riquelme_poblete.pdf

Romero Paredes, Arturo (2009). Elementos para la Promoción de la Energía Eólica en México.

Recuperado el 22 de noviembre de 2012 de:

http://www.amdee.org/_literature_44031/Elementos_de_Promoci%C3%B3n_para_la_Energ%C3%ADa_E%C3%B3lica

Rubio, M. C. (2010) Mar adentro. Revista Técnica Industrial. 288. pp. 24-27.



Ruiz-Caro, Ariela (2001). El papel de la OPEP en el comportamiento del mercado petrolero internacional.

Recuperado el 03 de agosto de 2012 de:

<http://www.eclac.org/publicaciones/xml/2/6572/LCL1514-P-E.pdf>

Salazar Urdapilleta, Alfonso (2012). La Energía Eólica con Futuro Promisorio en México.

Recuperado el 11 de enero de 2013 de:

http://www.petroquimex.com/wp-content/uploads/2013/03/La_Energia_Eolica.pdf

Sagardoy, Ignacio (2012). Análisis de Ciclo de Vida Aerogenerador IVS 4500.

Recuperado el 15 de abril de 2013 de:

http://www.inti.gob.ar/e-renova/erEO/pdf/Tesis_energia_eolica_Ing_Ignacio_Sagardoy.pdf

Saldaña Flores, Ricardo (2005). Estudio de los potenciales bioenergético, eólico, mini hidráulico y solar en México. México. Instituto de investigaciones eléctricas.

Recuperado el 15 de abril de 2012 de:

http://www.sener.gob.mx/webSener/res/168/A9_Recursos.pdf

Sánchez O, C. C. (2010). Potencial eólico del estado de Quintana Roo.

Recuperado el 15 de enero de 2013 de:

<http://biblioteca.coqcyt.gob.mx/bvic/Captura/upload/POTENCIAL-EOLICO-ARTREV.pdf>

Sebitosi, A.B. (2008). Renewable energy and the environment in South Africa: A way forward. Energy Policy. 36, pp. 3312-3316.

Serra, Luis (2013). Nuestra inseguridad energética.

Recuperado el 14 de agosto de 2013:

<http://www.animalpolitico.com/blogueros-tanque-pensante/2013/08/14/nuestra-inseguridad-energetica/>

SGS (2012). Rotor Blade Testing and Wind Energy Consultancy in China.

Recuperado el 21 de septiembre de 2012 de:

<http://www.sgs.com/en/Solutions-Path/Rotor-Blade-Testing-and-Wind-Energy-Consultancy-in-China.aspx>

Shepherd, Dennis G (1990). Historical development of the windmills. (1a edición) New York. NASA-US Department of Energy.

Soler, Francisco (2010). La nueva política china para la promoción de las energías renovables.

Recuperado el 23 de septiembre de:

http://www.iberasia.org/garrigues/Polit_Cn_Prom_Renovables.pdf



Sussex Mills Group (2012). Estudios sobre arqueología industrial del Reino Unido.

Recuperado el 01 de agosto de 2012 de:

<http://www.sussexmillsgroup.org.uk/wind.htm>

Till (2009). Offshore wind experiences. IEA.

Recuperado el 28 de Diciembre de 2009 de:

http://www.iea.org/publications/free_new_result.asp?title=wind+.

Torres Flores, Ramón Carlos (2005). Proyecto de Norma Oficial mexicana sobre energía eólica. México. Documento técnico del 11º Seminario de ahorro de energía, cogeneración y energía renovable.

Universidad de Vigo (2006). Gestión de la Tecnología. Departamento de Diseño Industrial de la Universidad de Vigo.

Recuperado el 23 de marzo de 2014 de:

http://webs.uvigo.es/disenoiustrial/docs/Lecturas/Gestion_tecnologia.pdf

USPTO (2012). Searching U.S. Patent Collection.

Recuperado el 02 de Octubre del 2012 de:

<http://patft.uspto.gov/netacgi/nph->

[Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&u=%2Fnetacgi/nph-](http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&u=%2Fnetacgi/nph-)

[htm&r=0&p=1&f=S&l=50&Query=ttl%2F%28wind+and+tower%29%0D%0A&d=PTXT](http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO2&Sect2=HITOFF&u=%2Fnetacgi/nph-htm&r=0&p=1&f=S&l=50&Query=ttl%2F%28wind+and+tower%29%0D%0A&d=PTXT).

U.S. Department of Energy (2013). Departamento gubernamental cuya misión es promover la tecnología de energía y promover la innovación relacionada en los Estados Unidos.

Recuperado el 05 de marzo de 2013 de:

<http://energy.gov/>

Valdés, Luis A. (2005). Administración de la Tecnología; Tema XII: Asimilación de tecnología. Cuadernos de apoyo de la Facultad de Contaduría y Administración. UNAM.

Recuperado el 18 de marzo de 2014 de:

http://docencia.fca.unam.mx/~lvaldes/tec_pdf/tec11.pdf

Valenti, G (2008). Ciencia tecnología e innovación. Hacia una agenda de política pública. FLACSO MÉXICO.

Vera, Benito (2012). Economía de las energías eólicas.

Recuperado el 14 de febrero de 2013 de:

http://www.revistasice.com/CachePDF/CICE_83_165-

[184__13C47A139A69FF74FC55F6471F771FA0.pdf](http://www.revistasice.com/CachePDF/CICE_83_165-184__13C47A139A69FF74FC55F6471F771FA0.pdf)

Windmill literature (2012). Folletos e información sobre antiguos molinos de viento.

Recuperado el 21 de junio de 2012 de:

<http://www.windmillliterature.com/USWindEnginePumpCo.html>



Wind Sector (2012). Comunidad europea en el ramo de la ingeniería para colaborar y competir en la industria de la energía eólica.

Recuperado el 12 de agosto de 2012 de:
www.windsector.tumblr.com

Worldwatch-Institute (2010). Renewables 2007 Global Status report. Worldwatch Institute.

World Wind Energy Association (2011). World Wind Energy Report 2010.

Recuperado el 25 de agosto de 2012 de:
http://www.wwindea.org/home/images/stories/pdfs/worldwindenergyreport2010_s.pdf

Wionczek, M. S. and Meyer (1982). La Energía en México: Ensayos sobre el pasado y el presente. Colegio de México.

Agencia Internacional de Energía

<http://www.iea.org/>

Asociación Empresarial Eólica

<http://www.aeeolica.org/>

Asociación Latinoamericana de Energía Eólica.

<http://www.lawea.org/>

Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior en México.

<http://www.anuies.mx/>

Biblioteca del club español de la energía.

<http://www.enerclub.es>

Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas (CIME)

http://www.cime.org.mx/index.php?option=com_contact&view=contact&id=1&Itemid=8

Colegio de Ingenieros Mecánicos, Electricistas y Profesiones Afines de León, A.C.

<http://www.ruelsa.com/cime/boletin/indice.html>

IIE Instituto de Investigaciones Eléctricas

<http://www.iie.org.mx/>

Instituto Tecnológico de Canarias (ITC).

http://web.itccanarias.org/web/difusion/como_funciona/aerogenerador

Institut für Flugzeugbau-Universität Stuttgart. (Instituto de diseño de aviones de la Universidad de Stuttgart).

<http://www.ifb.uni-stuttgart.de/>



Organización Meteorológica Mundial
https://www.wmo.int/pages/index_es.html

Parques eólicos: una alternativa ecológica.
<http://www.parqueseolicosonline.com/>

The European Wind Energy Association (EWEA)
<http://www.ewea.org/>

Wind power database.
<http://www.thewindpower.net/>

Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026.
Capítulo 4: Prospectiva del Sector Eléctrico Nacional 2012-2026 en la planeación del Sector Eléctrico Nacional; Lineamientos de participación de tecnologías de generación. SENER

Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012.
Sección 2.11: Energía, electricidad e hidrocarburos; Energías Renovables y Eficiencia Energética.

Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012.
Sección 4.6 Cambio climático.

Plan Nacional de Desarrollo 2003-2018.
México próspero

Ley del servicio público de Energía Eléctrica (LSPEE).

Reglamento para la Ley del servicio público de Energía Eléctrica (RLSPEE).

Ley Para El Aprovechamiento De Energías Renovables Y El Financiamiento De La Transición Energética (LAERFTE).

Reglamento para la Ley Para El Aprovechamiento De Energías Renovables Y El Financiamiento De La Transición Energética (RLAERFTE).

Estrategia Nacional Para La Transición Energética Y El Aprovechamiento Sustentable De La Energía 2011.

Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000
Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.



Norma Oficial Mexicana NOM-020-SEMARNAT-2001

Procedimientos y lineamientos que se deberán observar para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales de pastoreo.

Norma Oficial Mexicana NOM-023-SEMARNAT-2001

Especificaciones técnicas que deberán contener la cartografía y la clasificación para la elaboración de los inventarios de suelos.

Norma Oficial Mexicana NOM-062-SEMARNAT-1994

Especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad que se ocasionen por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios.

Norma Oficial Mexicana NOM-162-SEMARNAT-2012

Especificaciones para la protección, recuperación y manejo de las poblaciones de las tortugas marinas en su hábitat de anidación.

Norma Oficial Mexicana NOM-131-SEMARNAT-2010

Lineamientos y especificaciones para el desarrollo de actividades de observación de ballenas, relativas a su protección y la conservación de su hábitat.

Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010

Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.

Norma Oficial Mexicana NOM-019-SEMARNAT-2006

Lineamientos técnicos de los métodos para el combate y control de insectos descortezadores.

Norma Oficial Mexicana NOM-126-SEMARNAT-2000

Especificaciones para la realización de actividades de colecta científica de material biológico de especies de flora y fauna silvestres y otros recursos biológicos en el territorio nacional. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Norma Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994

Límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.

Norma Oficial Mexicana NOM-117-SEMARNAT-2006

Especificaciones de protección ambiental durante la instalación, mantenimiento mayor y abandono, de sistemas de conducción de hidrocarburos y petroquímicos en estado líquido y gaseoso por ducto, que se realicen en derechos de vía existentes, ubicados en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.



Norma Oficial Mexicana NOM-150-SEMARNAT-2006

Especificaciones técnicas de protección ambiental que deben observarse en las actividades de construcción y evaluación preliminar de pozos geotérmicos para exploración, ubicados en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, fuera de áreas naturales protegidas y terrenos forestales.

Norma Oficial Mexicana NOM-149-SEMARNAT-2006

Especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación, mantenimiento y abandono de pozos petroleros en las zonas marinas mexicanas.

Norma Oficial Mexicana NOM-130-ECOL-2000

Protección ambiental-Sistemas de telecomunicaciones por red de fibra óptica-Especificaciones para la planeación, diseño, preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento.

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004

Criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.

Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.

Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002

Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo.

Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente

Texto vigente

Última reforma publicada DOF 07-06-2013

Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40

Junio 2013

SEMARNAT 2012: Programa de ordenamiento ecológico general del territorio