



ENERGÍA del VIENTO

Óscar A. Jaramillo Salgado y Marco A. Borjas Díaz

Existen diversos tipos de plantas o centrales eololéctricas, conocidas también como “granjas de viento”. Se desarrollan, ya sea tierra adentro en superficies planas o lugares escarpados, cerca de la costa o incluso fuera de la costa. Consumen muy pequeñas cantidades de agua y no son contaminantes.

Introducción

La utilización de la energía del viento es muy antigua. La historia se remonta al año 3 500 antes de nuestra era, cuando los sumerios armaron las primeras embarcaciones de vela. Los egipcios construyeron barcos hace al menos cinco mil años para navegar por el Nilo, y más tarde por el Mediterráneo. Después, los griegos construyeron máquinas que funcionaban con el viento. Así, desde la Antigüedad éste ha sido el motor de las embarcaciones.

Algunos historiadores sugieren que hace más de 3 mil años la fuerza del viento se empleaba en Egipto, cerca de Alejandría, para la molienda de granos (Burton y colaboradores, 2001; Manwell y colaboradores, 2002; Hau, 2005). Sin embargo, la información más fehaciente sobre la utilización de la energía eólica en la molienda apunta a Persia, en la frontera Afgana, en el año 640 de nuestra era. Otras fuentes históricas, fechadas unos cuantos años más tarde, muestran que los chinos también utilizaban la energía del viento en ruedas con paletas y eje vertical para irrigar o drenar sus campos de arroz (Hau, 2005).

En contraste con China y Persia, algunos países de Europa utilizaron molinos de viento, pero de eje horizontal. Los historiadores muestran que tales molinos se empleaban ya en el año 1180 en Normandía. En Europa se desarrollaron básicamente tres tipos de molino: el de pedestal, en el siglo XII; el molino *hueco* (sin maquinaria de molienda) para bombeo de agua del siglo XV; y el molino de torre. Este último se dejó de usar en el siglo XIX (Hau, 2005).

En la década de los ochenta nace la industria eoloeléctrica moderna, cuando las primeras turbinas eólicas o aerogeneradores comerciales se instalaron en Palm Springs, California



Alrededor de 1900, los molinos de viento se utilizaron típicamente para molienda y bombeo de agua. Por primera vez en dicha fecha, el inventor danés Poul la Cour realizó experimentos con molinos de viento típicos de Dinamarca para generar electricidad. Así, la electrificación rural de Dinamarca creó el primer mercado de generación eléctrica a partir del viento (generación *eoloeléctrica*; Burton y colaboradores, 2001; Manwell y colaboradores, 2002; Hau, 2005).

Si bien los sistemas de generación eoloeléctrica presentaron un desarrollo importante durante las primeras décadas del siglo XX, la primera y segunda guerras mundiales dificultaron su crecimiento, y fue hasta la década de los setenta, con la primera crisis mundial del petróleo, que se reactivó su expansión. Actualmente, entre las fuentes renovables de energía, la eólica es la de mayor crecimiento (Manwell y colaboradores, 2002).

Desarrollo actual para el aprovechamiento de la energía del viento

Se puede decir que en la década de los ochenta nace la industria eoloeléctrica moderna, cuando las primeras turbinas eólicas

o aerogeneradores comerciales se instalaron en Palm Springs, California. Al comparar aquellas primeras instalaciones con las actuales centrales eoloeléctricas, es evidente que la capacidad, eficacia e impacto visual han mejorado enormemente. Las mejoras más dramáticas son el aumento en la capacidad de generación eléctrica, el incremento en la eficiencia de la conversión de la energía eólica y la confiabilidad y grado de seguridad en los sistemas.

Los primeros aerogeneradores presentaban capacidades de apenas 25 kilowatts hace veinticinco años, y actualmente la gama comercial va típicamente de 750 hasta 2 mil 500 kilowatts (2.5 megawatts). Así, cada turbina de 2 megawatts de capacidad produce más energía eléctrica que 200 de las máquinas que se comercializaban a finales de la década de 1980. En la Figura 1 se muestra esquemáticamente la evolución de la capacidad de los aerogeneradores en los últimos 20 años (Manwell y colaboradores, 2002).

Los principales fabricantes de aerogeneradores son Alemania y Dinamarca, aunque hay mercados emergentes, como el indio y el chino, que crecen a ritmo vertiginoso. Dentro de los países con mayor tradición en la generación eoloeléctrica se encuentran Dinamarca y Alemania, y en la última década se suman España y Estados Unidos. Un número importante de otros países, incluyendo Italia, el Reino Unido, los Países Bajos, Japón y Portugal han alcanzado ya los 1 000 megawatts (según Wind Energy Statistics, sin fecha). En la Figura 2 se muestra la capacidad mundial instalada hasta finales de 2008 y sus principales actores.

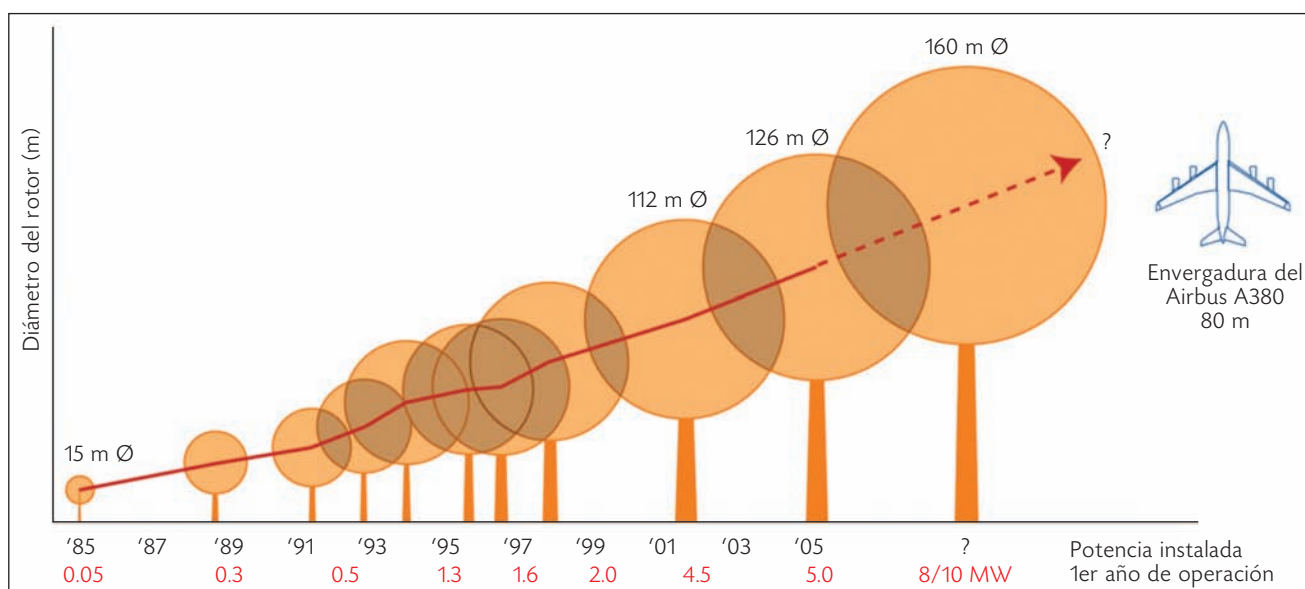


Figura 1. Capacidad de generación de los aerogeneradores. Fuente: Asociación Europea de Energía Eólica.

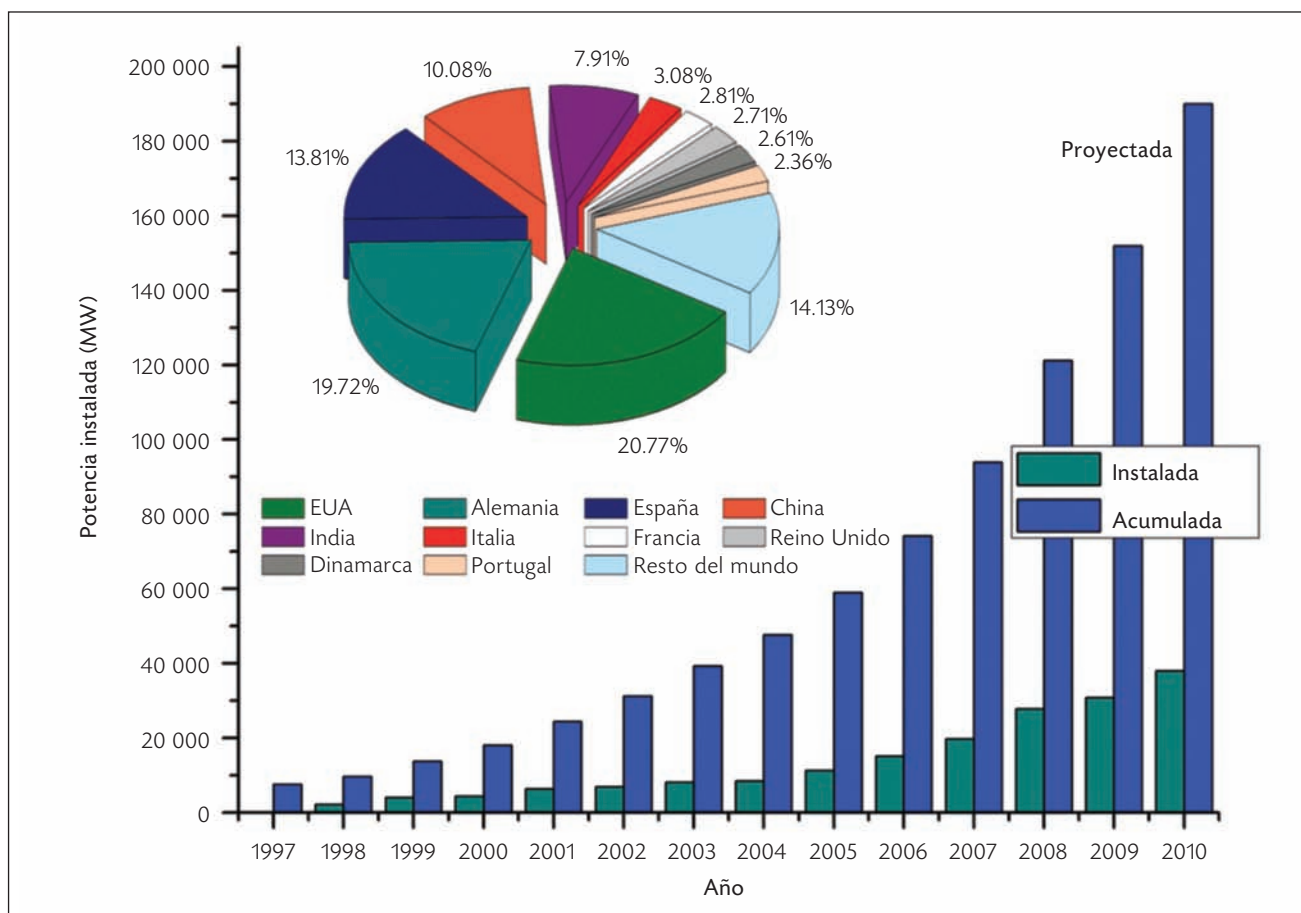


Figura 2. Potencia instalada en el mundo y porcentaje de participación por país (finales de 2008).

Generalmente se considera adecuado que las zonas mar adentro para el desarrollo eólico estén a diez kilómetros o más de tierra firme. Los aerogeneradores mar adentro son de un tamaño más grande que los de tierra y presentan un mayor rendimiento, ya que la velocidad media del viento es considerablemente más alta, además de que operan durante más horas en el año (Manwell y colaboradores, 2002; Hau, 2005). En la mayoría de los casos los desarrollos mar adentro son más costosos que los terrestres, ya que las cimentaciones mar adentro pueden ser más difíciles de construir. Además, la transmisión de la energía generada mar adentro se realiza a través de cable submarino, que es más costoso que los cables de tierra, sin contar que el ambiente marino incrementa los costos, pues requiere protección anti-corrosión y contra la fatiga de los equipos y maquinaria. Algunos países como Canadá, Italia, Finlandia, China, Taiwán, Noruega, España, Francia, Reino Unido y Estados Unidos han empezado el desarrollo de centrales eólicas mar adentro. Es de esperar que entre 2012 y 2017 se cuente con una capacidad instalada

mundialde alrededor de 10 mil megawatts mar adentro.

El recurso eólico

La energía eólica es consecuencia de la energía que irradia el Sol hacia la Tierra: alrededor de 174 billones 423 mil millones de kilowatts-hora por día. Es decir, en una hora la Tierra recibe (en notación científica) 1.74×10^{17} watts de potencia, que equivalen aproximadamente en promedio a 680 watts por metro cuadrado en la región iluminada. Tan sólo 1 por ciento de dicha energía se transforma en energía eólica, y esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la que todas las plantas de la Tierra convierten en biomasa.

Un parámetro para caracterizar la topología del terreno, además de que sea plano o escarpado, es su *factor de rugosidad*, que describe qué tan fácilmente pasa el viento sobre el terreno. Por ejemplo, un terreno con nieve es menos rugoso que aquel que tiene gran cantidad de vegetación

Las diferencias de temperatura en las distintas regiones terrestres, causadas por el calentamiento desigual debido a la diferencia en la cantidad de energía solar recibida entre el Ecuador y las diferentes latitudes hasta los polos, provocan que se cree la circulación de grandes masas de aire. El aire caliente es más ligero que el aire frío, por lo que subirá hasta alcanzar una altura aproximada de 10 kilómetros y se extenderá hacia el norte y hacia el sur. Se debe tener en cuenta la rotación de la Tierra, ya que sin ella el aire simplemente llegaría al polo norte y al polo sur, para posteriormente descender y volver al Ecuador (AWS Scientific, 1997).

Cerca de los 30 grados de latitud, en ambos hemisferios, la llamada *fuerza de Coriolis*, debida a la rotación de la Tierra, evita que el viento se desplace más allá. En esa latitud se encuentra un área de altas presiones, por lo que el aire empieza a descender de nuevo. Cuando el viento suba desde el Ecuador habrá un área de bajas presiones cerca del nivel del suelo que atraerá los vientos del norte y del sur. En los polos habrá altas presiones debido al aire frío. Sin embargo, la rapidez y la dirección del



viento están influenciadas por la suma de los efectos global y local, de tal suerte que existen diferentes mecanismos para la creación de viento local. Como ejemplos se pueden citar la brisa marina y el terral, los vientos valle-montaña y los que ocurren en las grandes planicies. Todos éstos son siempre consecuencia de los cambios de temperatura que afectan la densidad y la diferencia de presión de una región (AWS Scientific, 1997; Manwell y colaboradores, 2002).

La rugosidad del terreno y los obstáculos adyacentes influyen en la velocidad del viento, tanto en su rapidez como en su dirección. Un parámetro para caracterizar la topología del terreno, además de que sea plano o escarpado, es su *factor de rugosidad*, que describe qué tan fácilmente pasa el viento sobre el terreno. Por ejemplo, un terreno con nieve es menos rugoso que aquel que tiene gran cantidad de vegetación (AWS Scientific, 1997).

Para cualquier proyecto de desarrollo eólico se necesita de la evaluación del recurso disponible. Para hacer esta tarea se emplean anemómetros y veletas, para registrar la rapidez y dirección del viento, respectivamente. Estos dispositivos de medición son colocados a diferentes alturas respecto al nivel del terreno, desde 10 hasta 80 metros de altura. Es práctica común utilizar los datos tomados cada segundo y promediados cada 10 minutos, ya que las variaciones en la rapidez del viento con periodos mayores que un segundo y menores que 10 minutos presentan un carácter aleatorio, y se considera que son turbulencia. Para las aplicaciones de la energía eólica, las fluctuaciones de turbulencia en el flujo deben ser cuantificadas para diseñar la turbina sobre la base de consideraciones de carga máxima, fatiga estructural, control, operación del sistema y calidad de la potencia generada (AWS Scientific, 1997).

Los datos de vientos observados en una estación anemométrica se pueden extrapolar a una región a través de metodologías de evaluación de escala media (mesoescala) que son probadas y validadas con mediciones puntuales. La misma metodología, aplicada de manera inversa, permite la estimación de sistemas de microescala. Si no se cuenta con datos anemométricos de alta calidad, el comportamiento regional se determina mediante los modelos de mesoescala en una red regular de puntos con espaciamiento de 2 a 5 kilómetros.

El área de dominio de tales modelos puede ser de 500 por 500 kilómetros cuadrados.

Los modelos de gran escala (macroescala) son importantes para determinar las condiciones de grandes zonas ventosas. Estos modelos se han utilizado para generar mapas eólicos de cobertura mundial o continental que permiten desarrollar modelos de

circulación general de la atmósfera, ignorando los efectos de factores locales como topografía, naturaleza y uso del suelo, efectos de temperatura local, etcétera. Los modelos de macroescala también se han utilizado para estimar la magnitud del viento en microescala, utilizando los datos medidos disponibles y aplicando la *ley de arrastre geostrofico*. Se dice que una de las ventajas de este método es que se puede aplicar a cualquier área, ya que las bases de datos son mundiales. Asimismo, se dice que otra ventaja es que la base de datos tiene más de 15 años de información. La gran desventaja de este método es que su resolución es del orden de cientos de kilómetros, y no resulta confiable para la estimación puntual del recurso eólico en una determinada localidad.

En la práctica, la energía producida por un aerogenerador se estima sobre un año típico de funcionamiento. La estimación implica la reducción estadística de los datos de viento a través de la función de densidad de probabilidad de Weibull (Burton y colaboradores, 2001) o algún otro tipo de distribución que sea representativo. Es importante indicar que las distribuciones de las velocidades del viento en la mayoría de los casos son sesgadas; es decir, no son simétricas. A veces tendrá velocidades muy altas, pero son muy raras. Así que la distribución estadística de las velocidades del viento varía de un lugar a otro del globo. Por tanto, la distribución de Weibull o alguna otra pueden variar tanto en la forma como en el valor medio (AWS Scientific, 1997).

Generadores eoloeléctricos modernos

En la Figura 3 se muestran los componentes de un aerogenerador actual. Típicamente, estos sistemas cuentan con tres palas aerodinámicas para la extracción de la energía cinética del viento a través del movimiento en sentido de las agujas del reloj (visto desde la dirección del viento); existen también aerogeneradores

de dos aspas, pero son pocos los modelos que se ofrecen en el mercado. Además presentan sistemas de control de velocidad mediante desprendimiento de flujo de forma pasiva, o bien regulación del ángulo de ataque de manera dinámica, sistema de orientación hacia la dirección predominante del viento, sistema eléctrico para la generación como generadores tipo “jaula de ardilla” o rotor devanado, y sistema de transmisión con caja de engranes multiplicadora para acoplar el eje principal con el generador. En sistemas donde se utiliza un generador síncrono de baja velocidad (multipolo) no se ocupa la caja de engranes. También cuentan con sistemas auxiliares de control e interconexión a la red (Hau, 2005).

Existen tres sistemas de control de velocidad de los aerogeneradores que permiten regular en cierta medida la generación de potencia:

1. *Desprendimiento de flujo pasivo (stall pasivo)*: Las palas de los aerogeneradores se encuentran fijas al cubo y con un ángulo fijo. Así, para ciertas velocidades y ángulos de ataque del viento, la pala del aerogenerador pierde sustentación.
2. *Desprendimiento de flujo activo (stall o stall active)*: Las palas presentan movimiento para asegurar la máxima fuerza de sustentación. Cuando se requiere controlar la velocidad de las palas, éstas rotan ligeramente para incrementar el ángulo de ataque del viento. A bajas velocidades este sistema opera igual que el control *pitch* (ver a continuación).
3. *Regulación del ángulo de paso del viento (pitch)*: Las palas pueden moverse para obtener un ángulo en el que la cuerda del perfil aerodinámico de la pala es paralela a la dirección del viento. Este tipo de control permite que el aerogenerador entregue potencia prácticamente constante cuando opera a su velocidad nominal o por arriba de ella.

Desde 1987 se ha llevado a cabo una ardua labor de estandarización de los aerogeneradores,

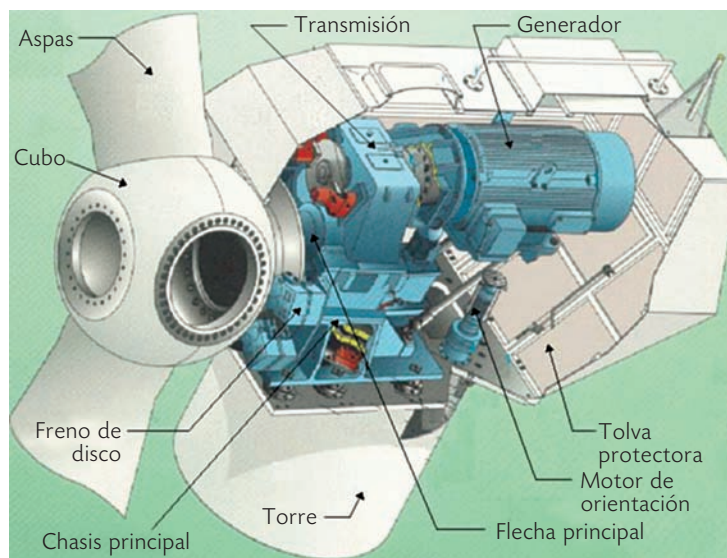


Figura 3. Principales componentes de un aerogenerador de eje horizontal.

su interconexión y sus sistemas auxiliares. El principal actor ha sido el Comité Electrotécnico Internacional, a través del Comité Técnico IEC-TC-88. Los estándares buscan que los aerogeneradores presenten la confiabilidad necesaria para operar bajo condiciones seguras y adecuadas.

Generadores eolieléctricos y redes eléctricas

La electricidad generada por un parque eólico o granja eólica se inyecta típicamente a la red de transmisión de energía eléctrica. Sin embargo, proyectos relativamente pequeños (por ejemplo, menores de 10 megawatts) se pueden conectar a la red de distribución. Los aerogeneradores individualmente están interconectados a media tensión (por lo general 345 kilovolts). En una subestación los transformadores incrementan el voltaje para su conexión a la red de transmisión a alta tensión.

Existen varias configuraciones del sistema eléctrico que dependen fundamentalmente del tipo de generador eléctrico que se emplea y del subsistema de acondicionamiento de potencia. Algunas configuraciones presentan ventajas en costo, mientras que otras presentan ventajas en su desempeño y grado de compatibilidad con las redes eléctricas. La tendencia de diseño apunta hacia las configuraciones que puedan satisfacer las más altas exigencias con relación a su mejor integración a la red eléctrica (es decir, cumplimiento de reglas conocidas como “códigos de red”).

Así se tienen diseños de aerogeneradores donde se utiliza el generador asíncrono, o bien el generador síncrono; el tipo de convertidor de potencia que se emplea depende de cada configuración (Ackermann, 2005).

Es importante tener en mente que en las redes eléctricas se deben controlar las variaciones de potencia y voltaje, así como las de frecuencia, para mantener el balance de potencia real y reactiva, además de evitar la generación de armónicos indeseables en el suministro eléctrico. Otro aspecto que ha cobrado gran importancia es dotar a los aerogeneradores de capacidad para mantenerse en línea ante una falla transitoria de la red eléctrica y aportar potencia reactiva para contribuir a la recuperación de la operación normal. La potencia suministrada por los aerogeneradores interconectados a la red debe ser constantemente supervisada y controlada para asegurar la calidad del suministro eléctrico (Ackermann, 2005).

Economía de la energía eólica

Del costo de inversión de una central eoloeléctrica, cerca del 75 por ciento corresponde al de los aerogeneradores (máquina eólica y torre), 14 por ciento al sistema eléctrico, la obra civil corresponde al 6 por ciento y el resto a licitaciones y permisos (uno por ciento), desarrollo en ingeniería (uno por ciento), gestión (uno por ciento) e imponderables (dos por ciento). Actualmente, los costos de inversión de las grandes centrales eólicas es de mil 200 a mil 800 dólares por kilowatt de potencia instalada (Burton y colaboradores, 2001; Manwell y colaboradores, 2002; Hau, 2005). Durante los últimos cinco

años los precios aumentaron considerablemente; asimismo, la demanda comercial se incrementó al grado que los tiempos de entrega de aerogeneradores para nuevos proyectos superaban los tres años. La actual crisis económica mundial está ocasionando que haya mayor disponibilidad comercial de aerogeneradores, aunque aún no se observa que los precios estén disminuyendo.

El mayor beneficio económico por la construcción de centrales eólicas está asociado con la producción industrial de los subsistemas, componentes e integración de los mismos. El mayor beneficio social, la generación de nuevos empleos, está supeditado a que el país desarrolle una industria eólica propia. El número de empleos directos en la fabricación de aerogeneradores para una central eoloeléctrica típica de 25 megawatts es de alrededor de 125, y por cada empleo directo se crean entre cinco y siete empleos indirectos.

El costo nivelado de producción de electricidad depende del factor de planta (la relación entre la energía eléctrica generada y la energía que el sistema hipotéticamente generaría si operara el 100 por ciento del tiempo a su capacidad nominal) y los costos asociados a su operación y mantenimiento (Burton y colaboradores, 2001; Manwell y colaboradores, 2002; Hau,



2005). Para algunos proyectos, este costo de producción resulta competitivo en comparación con los costos de algunos sistemas convencionales de energía; por supuesto, la competitividad económica entre proyectos sólo puede determinarse caso por caso.

Los modernos aerogeneradores están diseñados para trabajar alrededor de 120 mil horas de operación a lo largo de su tiempo de vida de diseño, que es de 20 años. Esto supone mucho más que un motor de automóvil, que dura generalmente alrededor de 4 mil a 6 mil horas. Durante su vida útil producen entre 40 y 80 veces la cantidad de energía usada en su construcción (Hau, 2005).

La Figura 4 muestra cuatro tipos de plantas o centrales eololéctricas, conocidas también como “granjas de viento”. Las centrales eololéctricas se desarrollan, ya sea tierra adentro en superficies planas, cerca de la costa, fuera de la

costa o bien tierra adentro en lugares escarpados. Los costos asociados a cada una de estas configuraciones son diferentes. Los mayores costos corresponden a las granjas de viento fuera de la costa, y los que resultan con menores costos asociados son los de tierra adentro con superficies planas donde se puede construir una retícula bien definida y la inversión de obra civil no resulta muy alta.

Impacto ambiental

El uso de la energía eólica reduce la emisión de gases de efecto invernadero y permite mitigar el calentamiento global por la disminución del dióxido de carbono (CO₂). Las centrales eólicas consumen muy pequeñas cantidades de agua y no emiten óxidos de nitrógeno, ozono, partículas ni otros tipos de sustancias dañinas al medio ambiente.

Además, el uso de suelo de una central es aproximadamente de 1 por ciento, por lo que las actividades agropecuarias pueden proseguir su curso sin mayor inconveniente (Burton y colaboradores, 2001; Manwell y colaboradores, 2002; Hau, 2005).



Figura 4. Plantas eololéctricas: 1. Tierra adentro en superficies planas; 2. Tierra adentro en lugares escarpados; 3. Cerca de la costa; y 4. Fuera de la costa.

Con respecto al impacto visual, las centrales eólicas son visibles a varios kilómetros de distancia, y para algunos países existen marcos regulatorios al respecto para evitar la contaminación visual, sobre todo en zonas turísticas. La contaminación por ruido es poco significativa, ya que típicamente un aerogenerador a 350 metros de distancia produce el mismo nivel de ruido que una noche en el campo abierto, con el croar de las ranas y el cantar de los grillos: entre 35 y 40 decibeles audibles. Claro está que el ruido de la central eoloeléctrica resulta monótono en comparación con una noche de campamento (Burton y colaboradores, 2001; Manwell y colaboradores, 2002; Hau, 2005).

Existe la posibilidad de que las centrales eólicas ocasionen efectos sobre las aves. Éstos pueden ir desde la modificación de sus patrones de vuelo y su hábitat hasta las colisiones. Sin embargo, varios estudios han mostrado que las especies de aves van aprendiendo a convivir con los aerogeneradores. Particularmente, las alturas de vuelo de las grandes poblaciones de aves migratorias son tales que exceden por mucho las alturas de los aerogeneradores. Por otra parte, la gran mayoría de las especies locales vuelan a alturas más bien bajas, y no es común que alcancen la altura de barrido de los rotores de los aerogeneradores, especialmente cuando la vegetación es relativamente baja. De cualquier forma, el desarrollo de centrales eoloeléctricas debe ir acompañado de estudios exhaustivos sobre la avifauna, de forma que se establezcan las medidas de prevención y mitigación que sean necesarias para reducir al mínimo posible los afectos adversos.

Energía eólica en México

Actualmente, en México ya han iniciado las aplicaciones comerciales de la generación eoloeléctrica, particularmente en la modalidad de centrales eólicas interconectadas a red, como es el caso de la central eólica La Venta II, en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. Se anticipa que el crecimiento de la capacidad eoloeléctrica que se instalará en los próximos cuatro a cinco años será superior a 2 mil 500 megawatts; la gran mayoría de ellos a instalarse en la zona eólica del Istmo de Tehuantepec. La Figura 5 muestra las centrales eoloeléctricas La Venta I, con una capacidad de 1.5 megawatts, y la central La Venta II, con capacidad de 83.3 megawatts.

Para dicho fin, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) ha expedido permisos a varias empresas privadas, mientras que la Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha celebrado acuerdos y compromisos en firme con dichas empresas para el financiamiento y la construcción de una línea de transmisión de electri-



Figura 5. La Venta I y La Venta II.

Las centrales eólicas consumen muy pequeñas cantidades de agua y no emiten óxidos de nitrógeno, ozono, partículas ni otros tipos de sustancias dañinas al medio ambiente



La Venta I. Foto: www.presidencia.gob.mx

ciudad con capacidad de 2 mil megawatts, que permitirá interconectar los proyectos eoloelectricos a realizarse en el Istmo de Tehuantepec con el sistema eléctrico nacional. Cabe destacar que la Comisión Federal de Electricidad ya ha integrado en su programa para ampliar la capacidad del sistema eléctrico nacional la construcción de proyectos eoloelectricos con capacidad de generar 500 megawatts en los próximos cinco años.

El recurso eólico de México aún no ha sido cuantificado con precisión; sin embargo, con base en mediciones de superficie y en algunos mapas eólicos, se sabe que el recurso eólico del país es abundante y que puede superar al de varios de los países que hoy son líderes en generación eoloelectrica. Diversas fuentes citan cantidades diferentes en relación al potencial eoloelectrico de México (es decir, la cantidad de potencia eólica –en megawatts– que podría instalarse; o bien, la cantidad de energía eléctrica que podría generarse para contribuir a la

demanda de electricidad en todo el país). En realidad, en un momento dado, el potencial eoloelectrico de cualquier país es una combinación entre el recurso eólico disponible y el aprovechable en términos técnicos, económicos, ambientales y sociales. La experiencia mundial muestra que las proyecciones van cambiando con el tiempo, y que están influenciadas por las curvas de aprendizaje en cada uno de dichos aspectos.

Lo importante en relación con el desarrollo eoloelectrico de cualquier país es establecer metas estratégicas y los mecanismos para lograrlas, así como emprender de manera sostenida, y con los estudios de planeación necesarios, la integración de la generación eoloelectrica como elemento de diversificación energética para el desarrollo sustentable.

El desarrollo de sistemas de generación eléctrica en México debe considerar las principales ventajas que ofrece la generación eoloelectrica moderna. Éstas son:

- Está libre de costos de combustible, pues emplea un recurso natural inagotable.
- Produce energía limpia con bajo impacto ambiental: no se presentan emisiones de dióxido de carbono durante su operación.

- Proporciona un resguardo contra volatilidad del precio de los combustibles.
- Mejora la independencia energética, ya que evita la importación de combustibles.
- Es modular y rápida de instalar, con una vida útil de 25 años.
- Su implementación es compatible con otras fuentes convencionales.
- Tiene amplio potencial para fomentar el desarrollo regional y la generación de nuevos empleos.

No obstante, el desarrollo comercial de la generación eoloelectrica en México está iniciando con varias desventajas importantes que impiden, en gran medida, que los mayores beneficios de dicha actividad se queden en el país. Existen grandes retos en el diseño, desarrollo e integración de sistemas, así como en el logro de la fabricación de bienes de capital en el país que conduzcan a la generación de nuevas fuentes de empleo. La nueva *Ley para el aprovechamiento de las energías renovables y el financiamiento de la transición energética* establece los principios rectores que en lo sucesivo deberán aplicarse.

Potencialmente México cuenta con instituciones, académicos, recursos humanos especializados, una base industrial e inversionistas interesados que, actuando conjuntamente, pueden conformar una industria eoloelectrica propia.

Óscar Alfredo Jaramillo Salgado obtuvo en 2002 su doctorado en ingeniería mecánica con mención honorífica por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Desde ese mismo año es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt. Actualmente es investigador titular del Centro de Investigación en Energía de la UNAM. Sus líneas de investigación son los sistemas de concentración solar y la integración de sistemas eólicos.

ojs@cie.unam.mx

Página web: <http://xml.cie.unam.mx/xml/se/cs/ojs/>

Marco Antonio Borja Díaz es investigador y jefe de proyectos en la Gerencia de Energías No Convencionales de la División de Energías Alternas del Instituto de Investigaciones Eléctricas. Originó y actualmente es líder del proyecto Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloelectrica en México, cofinanciado por el Gobierno de México y por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), a través del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

maborja@iie.org.mx

Lecturas recomendadas

Burton Tony, David Sharpe y Nick Jenkins (2001), *Wind energy handbook*, 1a edición, Inglaterra, Wiley.

Manwell J. F., J. G. Mc Gowan y A. L. Rogers (2002), *Wind energy explained. Theory, design and application*, 2a edición, Inglaterra, Wiley.

Hau, Erich (2005), *Wind turbines: fundamentals, technologies, application, economics*, 2a edición, Alemania, Springer.

Wind Energy Statistics (sin fecha). Disponible en: <http://home.wxs.nl/~windsh/stats.html>

AWS Scientific, Inc. (1997), *Wind resource assessment handbook*, 1a edición, National Renewable Energy Laboratory, Albany, Nueva York.

Thomas Ackermann (2005), *Wind power in power systems*, 1a edición, Inglaterra, Wiley.

