

Consultado en:

<http://www.iie.org.mx/bolEA00/art1.pdf>

Fecha de consulta: 29/08/2009.

Investigación y Desarrollo Tecnológico en el tema de la generación eoloelectrica

Marco A. Borja Díaz
Raúl González Galarza



El origen del aprovechamiento de la energía cinética del viento para usos productivos se pierde en la historia de la humanidad. El molino de viento tuvo su apogeo durante los siglos XVII y XVIII y para 1850 en Holanda existían cerca de 9,000 molinos de viento que equivalían a una potencia instalada cercana a 225 MW.

Resumen

La tecnología eoloelectrica ha avanzado de manera importante durante la última década. En los países industrializados las ventas anuales de aerogeneradores alcanzan cifras sorprendentes y se incrementan al 30% anual. Pero, ¿es esto el producto directo de la madurez de esta tecnología?, ¿actualmente la tecnología eoloelectrica es económicamente competitiva con las opciones convencionales?, ¿existen necesidades de Investigación y Desarrollo Tecnológico en el tema? Este artículo presenta algunos hechos e indicadores que ayudarán al lector a deducir sus propias conclusiones.

Introducción

El origen del aprovechamiento de la energía cinética del viento para usos productivos se pierde en la historia de la humanidad. El molino de viento tuvo su apogeo durante los siglos XVII y XVIII y para 1850 en Holanda existían cerca de 9,000 molinos de viento que equivalían a una potencia instalada cercana a 225 MW. Éstos se utilizaban para moler granos, bombear agua, serrar madera y producir aceites. El molino de viento fue relegado por las máquinas de vapor y posteriormente por las de combustión interna; sin embargo, su aplicación para bombeo de agua persistió de manera importante en el medio rural y de ahí surgió la idea de realizar los primeros experimentos para transformar la energía cinética del viento en electricidad, como en Dinamarca y Estados Unidos, alrededor de 1900.

Progresivamente, los combustibles fósiles se convirtieron en la fuente principal para satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad; no obstante, su escasez durante las guerras mundiales revivió el interés por desarrollar pequeños y grandes aerogeneradores. De 1930 a 1970 la investigación y desarrollo tecnológico de aerogeneradores

continuó, varios fueron los intentos por desarrollar máquinas de mediana y gran escala (de 100 kW a 1.25 MW). De dicho esfuerzo se generó conocimiento importante, pero para esas fechas el avance tecnológico aún estaba lejos de poder superar el reto de desarrollar máquinas de gran tamaño que pudieran soportar el ímpetu del viento durante varios años.

En 1973, la crisis petrolera internacional ocasionó el renacimiento del desarrollo de aerogeneradores y para 1980 comenzó su aplicación comercial de manera incipiente. A partir de esas fechas, la investigación y desarrollo tecnológico en el tema de la generación eoloelectrica mantiene un paso sostenido que ha sido la base de la progresiva implantación y diseminación de esta interesante tecnología que, al igual que el viento, puede perdurar a través de los siglos en armonía con la preservación del medio ambiente.

Para finales del año 2000, en el mundo ya había cerca de 16,500 MW eoloelectricos (conectados a los sistemas eléctricos convencionales) que generaron cerca de 36 TWh durante el año 2000 (REWP, 2000). Los países líderes en capacidad eoloelectrica instalada son: Alemania,

Estados Unidos, España, Dinamarca, India, Países Bajos, Reino Unido, China, Italia y Suecia. La Unión Europea se propone contar con 40,000 MW eololéctricos para el año 2010, mientras que en Estados Unidos se habla de 10,000 MW eololéctricos para el mismo año y de 80,000 para el año 2020. En la actualidad, los aerogeneradores que dominan el mercado tienen capacidades entre 500 y 750 kW y la magnitud de sus diámetros oscila alrededor de 40 metros. En el ámbito comercial ya comienza a surgir la generación de megawatts con máquinas de hasta 1.6 MW de capacidad unitaria que tienen diámetros cercanos a 60 metros. En el ámbito experimental existen aerogeneradores de hasta 3 MW de capacidad nominal.

En el ámbito internacional, el motivo principal para aplicar la tecnología eololéctrica en escala significativa ha sido mitigar la emisión de gases de efecto invernadero, en respuesta a la preocupación mundial por el Cambio Climático Global. Sin embargo, se ha hecho evidente que la aplicación de la tecnología eololéctrica trae una serie de beneficios adicionales comprobados, entre los que se encuentran: incrementar la seguridad de abasto de energéticos (aprovechando un recurso energético propio e inagotable), ahorrar combustibles fósiles, atraer la inversión privada con la participación de pequeñas y medianas empresas, impulsar el desarrollo en las regiones favorecidas con recurso eólico y, sobretodo, crear nuevos empleos directos e indirectos.

Desarrollo tecnológico

La intensificación en la investigación y desarrollo tecnológico de aerogeneradores fue ocasionada por la actividad comercial que se dio en

La intensificación en la investigación y desarrollo tecnológico de aerogeneradores fue ocasionada por la actividad comercial que se dio en Estados Unidos durante la década de 1980. El desarrollo de la tecnología eololéctrica en los países líderes se ha apoyado de manera importante mediante diversos programas gubernamentales de investigación, desarrollo tecnológico y demostración (I,D+D).

Estados Unidos durante la década de 1980. En el estado de California se establecieron incentivos favorables para la generación eololéctrica, lo que propició la instalación de un complejo eololéctrico que en 8 años (1983-1990) alcanzó una capacidad cercana a 1,500 MW. Para mediados de la década de 1980, en California ya se había instalado gran cantidad de los entonces disponibles 37 modelos de aerogeneradores. Así, el complejo eololéctrico de California se convirtió en un gran centro de pruebas. Fue un comienzo comercial temprano ya que para esas fechas la tecnología aún se encontraba en su etapa inicial de desarrollo. Por ello, en la fase operacional surgieron muchos problemas técnicos que a lo largo de más de 15 años se han venido superando. La Unión Europea esperó cautelosamente a que la tecnología alcanzara un grado mayor de desarrollo para iniciar su implantación y es hasta 1990 cuando se empieza a propagar la tecnología eololéctrica en varios países europeos. A partir de esas fechas, Europa mantiene un crecimiento sostenido que sigue al progreso técnico y económico de la tecnología, así como a la consolidación de su política para

promover y apoyar el desarrollo sustentable.

El desarrollo de la tecnología eololéctrica en los países líderes se ha apoyado de manera importante mediante diversos programas gubernamentales de investigación, desarrollo tecnológico y demostración (I,D+D). En mayor o menor medida, en cada uno de estos países se crearon instituciones, laboratorios, centros de prueba y grupos de trabajo que han sido, y seguirán siendo, la fuente de los elementos de mejora e innovación tecnológica, así como de recursos humanos especializados que han sustentado técnicamente los procesos de implantación y diseminación de la tecnología, siempre en estrecha vinculación con la industria privada y con las instituciones del sector público. En la Tabla 1 se listan algunos ejemplos de los programas gubernamentales vigentes en I,D+D sobre la tecnología eololéctrica y en la Tabla 2 se listan ejemplos de las principales instituciones involucradas en la ejecución de proyectos de I,D+D.

En el ámbito de cooperación internacional, la I,D+D de la tecnología eololéctrica en los países industrializados se apoya en los esquemas siguientes:

- Programas de la Comisión Europea que otorgan apoyos económicos para: Investigación y Desarrollo (JOULE), demostración y otras actividades tales como estrategia, diseminación, preparación (THERMIE), fomento de las Energías Renovables (ALTENER II). Típicamente, dichos programas se orientan a la potenciación económica de los programas nacionales. Actualmente algunos programas se han fusionado pero sus objetivos generales se mantienen vigentes.

Tabla 1. Ejemplos de programas gubernamentales vigentes sobre I,D+D en energía eólica.

País	Administrador	Inversión en eólica (Millones US\$) (1999)
Alemania		
• Cuarto programa de Investigación en Energía y Tecnología	Ministerio de Economía y Tecnología	• 21.8
Dinamarca		
• Programa de Investigación en Energía	Ministerio de Ambiente y Energía	• 1.8
• Programa de desarrollo, demostración e información de energía renovable	Agencia Danesa de Energía	• 4.0
Estados Unidos		
• Programa de Energía Eólica	Departamento de Energía (USDOE)	• 34.1
Países Bajos		
• Programa de Energía Eólica	NOVEM	• 13.6
Japón		
• Programa de I,D+D en Energía Eólica	Ministerio de Comercio Internacional e Industria (MITI)	• 17.8
Suecia		
• Programa de I+D en Energía Eólica	Instituto de Investigación en Aeronáutica (FFA)	• 4.6
Reino Unido		
• Programa de Energía Renovable	Departamento de Comercio e Industria	• 2.1

De acuerdo con lo reportado al “Acuerdo Eólico de la AIE” los presupuestos 1998 de I+D para energía eólica (excluyendo apoyos para demostración en “gran escala”) fueron menores que 1 millón de USD para Canadá, México, Nueva Zelanda y Noruega, entre 1 y 15 millones de USD para Australia, Dinamarca, Alemania, Grecia, Finlandia, Italia, Japón, Países Bajos, España, Suecia y Reino Unido y de 32 millones de USD para Estados Unidos.

- En el seno de la Agencia Internacional de Energía, se desarrolla un “Acuerdo de Implementación para la Cooperación en la Investigación y Desarrollo de Sistemas de Generación Eoloeléctrica”. En él participan Australia, Austria, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Alemania, Grecia, Italia, Japón, Los Países Bajos, México (a partir de 1997), Nueva Zelanda, Noruega, España, Suecia, Reino Unido, Estados Unidos y un representante de la Comisión Europea. Los objetivos del “Acuerdo Eólico de la AIE” son: “Alentar y apoyar el desarrollo tecnológico y la implantación de la tecnología eoloeléctrica mediante la cooperación en la investigación, desarrollo y demostración de

sistemas de generación eoloeléctrica y el intercambio periódico de información sobre las actividades y planes en los países miembros”. Las acciones de cooperación se realizan en forma horizontal mediante la participación de los países miembros en Tareas Técnicas. Cada país miembro

Actualmente, existen varias opciones tecnológicas de aerogeneradores que incorporan diferentes elementos de diseño enfocados a incrementar su capacidad, eficiencia, confiabilidad, seguridad y economía, así como a mejorar su facilidad de reproducción, instalación, operación y mantenimiento.

solventa, con sus propios recursos, todos los gastos que se originan de su participación en las Tareas Técnicas, así como los relacionados con los programas de investigación y desarrollo tecnológico que realizan localmente.

Dichos esfuerzos han conducido a la tecnología eoloeléctrica a alcanzar un grado de desarrollo aceptable para incorporarla a los sistemas eléctricos. Sin embargo, en su estado actual sólo puede competir económicamente con las opciones de combustibles fósiles si se le otorgan condiciones preferenciales basadas en el reconocimiento de su beneficio al medio ambiente (v.g., financiamiento blando, incentivos fiscales, obligación de compra). A través de los años, los incentivos necesarios se han venido reduciendo

Tabla 2. Ejemplos de las principales instituciones involucradas en proyectos de I,D+D.

País	Institución
Alemania	<ul style="list-style-type: none"> • Instituto de Energía Eólica (DEWI) • Instituto de Tecnología en Energía Solar (ISET)
Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) • Instituto de Investigaciones en Potencia Eléctrica (EPRI) • Laboratorios Nacionales Sandia
Dinamarca	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorios Nacionales RISO • Universidad Técnica de Dinamarca
España	<ul style="list-style-type: none"> • Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) • Centro de Estudios de la Energía (CEE) • Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) • Instituto Tecnológico de Energías Renovables (ITER)
Países Bajos	<ul style="list-style-type: none"> • Fundación para la Investigación en Energía (ECN) • Universidad Técnica de Delft
Grecia	<ul style="list-style-type: none"> • Centro para Fuentes de Energía Renovable (CRES)
Suecia	<ul style="list-style-type: none"> • Instituto Nacional de Investigaciones en Aeronáutica (FFA) • Universidad de Chalmers • Universidad de Uppsala

en la medida en que la tecnología eoloeléctrica se ha mejorado. No obstante, aún son imprescindibles ya que, actualmente, el costo de la energía eoloeléctrica es mayor que 0.05 USD/kWh (REWP, 2000) y básicamente se incrementa en función de la dificultad del proyecto y de la menor disponibilidad de recurso eólico.

Actualmente, existen varias opciones tecnológicas de aerogeneradores que incorporan diferentes elementos de diseño enfocados a incrementar su capacidad, eficiencia, confiabilidad, seguridad y economía, así como a mejorar su facilidad de reproducción, instalación, operación y mantenimiento, a la vez que buscan reducir algunos efectos adversos (v.g., sobre el sistema eléctrico, emisión de ruido, impacto visual) y ampliar su ámbito de aplicación (v.g., centrales eoloeléctricas mar adentro, en climas muy fríos o en regímenes de viento relativamente bajos). A simple vista, todos los aerogeneradores modernos parecen similares (típicamente: eje horizontal, viento arriba, tres aspas);

sin embargo, difieren en que algunos son de velocidad constante, semi-variable o variable, o bien en que su potencia puede ser regulada mediante el control del ángulo de paso de las aspas, por desprendimiento de flujo sobre el perfil aerodinámico o por una combinación de dichos métodos.

Asimismo, hay modelos que prescinden de caja de engranes y otros que se conectan a la línea eléctrica a través de inversores de potencia (CA-CD-CA). En el ámbito operacional

En el contexto del Cambio Climático Global, los esfuerzos por reducir la emisión de gases de efecto invernadero en los países industrializados (a niveles inferiores a los de 1990, de acuerdo con el Protocolo de Kyoto), serán neutralizados de manera significativa en la medida en que los países en transición incrementen su capacidad de generación de electricidad con base en la quema de combustibles fósiles.

han surgido algunas experiencias importantes; por ejemplo, algunos modelos de tecnología conservadora (en cierta medida), han operado con altos índices de confiabilidad pero con eficiencia relativamente baja, mientras que otros diseños de vanguardia, que pretendían incorporar las técnicas de diseño más avanzadas, fallaron drásticamente.

Es cierto que ya existen miles de aerogeneradores operando en el mundo y que el mercado eoloeléctrico ha crecido de manera impresionante (actualmente el valor de instalaciones anuales de aerogeneradores supera 2 billones de dólares y las ventas se han venido incrementando a una tasa cercana a 30% anual [REWP, 2000]). No obstante, la realidad es que la tecnología eoloeléctrica apenas está superando su etapa de adolescencia y que dentro de 10 años, los aerogeneradores de hoy nos parecerán tan obsoletos como hoy nos parecen aquellos de la década de los ochenta.

Este hecho, bastante conocido por los expertos en tecnología eoloeléctrica, fue ratificado en octubre del año 2000 por el Grupo de Trabajo en Energía Renovable de la Agencia Internacional de la Energía (REWP, 2000), de acuerdo con la siguiente declaración:

Para continuar el impulso del desarrollo de la generación eoloeléctrica y la adopción de mercado, aún es necesario continuar con la I+D en varias áreas. Con la meta de reducir los costos de generación a valores entre 0.02 y 0.025 USD/kWh para el año 2020, las prioridades son las siguientes:

Para reducir costos

- Evaluación del recurso eoloenergético y localización de sitios para proyectos eoloeléctricos.
- Mejorar modelos para

- aerodinámica / aeroelasticidad.
- Desarrollar nuevas estructuras / materiales y reciclado.
- Reducir incertidumbre en cargas mecánicas.
- Mejorar normas y servicios de prueba.
- Desarrollar nuevos conceptos de soluciones inteligentes para reducción de cargas.
- Desarrollar generadores y convertidores electrónicos más eficientes(para la aplicación).
- Incrementar confiabilidad y facilidad de mantenimiento.
- Demostración y diseminación de tecnologías eoloeléctricas prometedoras para eliminar cuellos de botella en la comercialización.

Para minimizar el impacto ambiental

- Combinar el uso del suelo.
- Integración visual.
- Reducir el ruido emitido por los aerogeneradores.
- Incrementar el conocimiento sobre efectos a la flora y fauna.

Para habilitar el uso en gran escala

- Predecir el comportamiento en potencia.
- Mejorar la calidad de la electricidad producida.
- Desarrollar sistemas híbridos, incluyendo híbridos con gas natural.
- Desarrollar nuevas técnicas de almacenamiento para diferentes escalas de tiempo.

Además, de acuerdo con los especialistas de la Agencia Internacional de la Energía, en las áreas de gran desarrollo será esencial agregar inteligencia al sistema eoloeléctrico completo y permitir interacción con otras fuentes de energía. De igual modo, se anticipa que las técnicas de almacenamiento de energía para diferentes escalas de tiempo (minutos a meses) incrementará el valor de la energía

Para que la implantación comercial de la tecnología eoloeléctrica en este país llegue a ser una realidad, primero se deberán remover una serie de barreras que incluyen elementos de legislación y regulación, de coordinación institucional, financieros y de información técnica y no técnica.

eoloeléctrica a niveles de penetración entre 15 y 20%.

Por el propósito de este artículo, cabe mencionar algunos de los proyectos de I+D que se han realizado recientemente o que están en proceso de desarrollo en países miembros del *Acuerdo Eólico de la AIE*, éstos son:

- Aplicaciones de la generación eoloeléctrica para desalación de agua (Alemania 1993-1997).
- Datos especiales y programas para terrenos complejos (Alemania 1992-1998).
- Reconocimiento temprano de fallas en aerogeneradores (Alemania 1994-1997).
- Desarrollo de aerogeneradores de 4 MW (Alemania 1998-2000).
- Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (Alemania 1996-1999).
- Fluctuaciones de voltaje en plantas descentralizadas (Alemania 1999-2002).
- Programa de investigación en aeroelasticidad (Dinamarca 1999-2000).
- Diseño de regulaciones para centrales mar adentro (Dinamarca).
- Aerogeneradores avanzados para islas remotas (Japón 1999-2004).
- Desarrollo de grandes aerogeneradores (3 – 5 MW) para aplicación mar adentro (Países Bajos 1999).

Diseminación de la tecnología eoloeléctrica a países en transición

En el contexto del Cambio Climático Global, los esfuerzos por reducir la emisión de gases de efecto invernadero en los países industrializados (a niveles inferiores a los de 1990, de acuerdo con el Protocolo de Kyoto), serán neutralizados de manera significativa en la medida en que los países en transición incrementen su capacidad de generación de electricidad con base en la quema de combustibles fósiles. Debido al costo actual de la energía eoloeléctrica y a las prioridades en satisfactores básicos (i.e., alimentación, salud, educación, seguridad social, vivienda), resulta difícil que los países en transición consideren la generación eoloeléctrica como alternativa energética si no se tiene plena conciencia sobre su potencial de beneficios no ambientales (empleos, desarrollo regional y otros), mismos que de manera directa o indirecta tienden a satisfacer necesidades básicas.

Sin lugar a duda, la diseminación de la tecnología eoloeléctrica a los países en transición es indispensable para que se puedan alcanzar las metas globales de desarrollo sustentable en el mediano y largo plazo. Sin embargo, dicho proceso requiere cautela y pasos firmes en virtud de que los sistemas eléctricos constituyen elementos estratégicos y la introducción de innovaciones siempre se acompaña de factores de riesgo y, por lo tanto, exige aprendizaje y desarrollo de capacidad local. De hecho, esta es la razón por la que los países industrializados no han avanzado en la medida de las expectativas globales (European Commission, 1997). Algunos países han sido más audaces que otros; sin embargo, la cordura y/o

los problemas que van surgiendo han sido los elementos de moderación.

Es comprensible que el mayor empuje para propiciar la diseminación masiva de la tecnología eoloeléctrica en los países en transición, provenga de algunos fabricantes de aerogeneradores y/o desarrolladores de proyectos eoloeléctricos, ya que la oportunidad de lucro resulta muy amplia. Ellos y sus socios comerciales locales, consideran que de la noche a la mañana se pueden crear grandes mercados eoloeléctricos –con amplias ventajas y garantías comerciales- sin tomar en cuenta los problemas potenciales de un crecimiento desmedido. Para tales fines, suelen argumentar que ya no hay nada que aprender sobre la tecnología eoloeléctrica; sin embargo, de acuerdo con lo que se ha presentado en este artículo, resulta muy probable que tales argumentos sólo persigan fomentar la ignorancia y precipitar la toma de decisiones.

Las organizaciones internacionales serias que promueven la diseminación de la tecnología eoloeléctrica a los países en transición, reconocen y apoyan la necesidad de desarrollar capacidad local (*capacity building*) que constituya la base de un desarrollo eoloeléctrico sostenible. Esto, por supuesto, no sólo en los aspectos técnicos sino también en los institucionales, financieros, ambientales, normativos y operacionales.

Por ejemplo, en 1999 el Comité Ejecutivo del *Acuerdo Eólico de la AIE* (por unanimidad de los 17 países integrantes) aconsejó a funcionarios mexicanos establecer un programa público de I+D en el tema de la energía eólica, con prioridades sobre evaluación del recurso eoloenergético, construcción de

centros de evaluación de aerogeneradores para desarrollo de capacidad técnica local y construcción de proyectos eoloeléctricos demostrativos, esto, acompañado de medidas para impulso del mercado (Carta a Conae, 1999).

Por su parte GEF/PNUD¹, en su estrategia operacional del programa de apoyo internacional para remover barreras para la implantación de las energías renovables (Martinot, 2000), considera que el desarrollo de capacidad local es un elemento crítico para el éxito de la consolidación de estas tecnologías en cualquier país y, por lo tanto, lo establece como una característica central de la mayoría de los proyectos GEF para ayudar a los beneficiarios a entender, absorber y difundir nuevas tecnologías.

Perspectivas de implantación en México

México se encuentra en una etapa de transición y posee una cantidad importante de recurso eoloenergético (por lo menos suficiente para instalar entre 3,000 y 5,000 MW de capacidad eoloeléctrica, según estimaciones realizadas en el seno de la CFE y del IIE (Hiriart, 2000; Borja, 1999). Sin embargo, para que la implantación comercial de la tecnología eoloeléctrica en este país llegue a ser una realidad, primero se deberán remover una serie de barreras que incluyen elementos de legislación y regulación, de coordinación institucional, financieros y de información técnica y no técnica. Se estima que realizando acciones objetivas y asiduas, la remoción de barreras podría tomar cerca de 2 años. De lograrse, el año 2003 podría llegar a ser el año de inicio de la implantación comercial de la tecnología eoloeléctrica en México. Analizando el desarrollo eoloeléctrico en otros países y sus perspectivas (ver

Tabla 3)², se pueden poner los pies sobre la tierra y estimar que, una vez que las barreras existentes hayan sido removidas, México podría llegar a instalar cerca de 2,000 MW eoloeléctricos durante una década, a una tasa de crecimiento cercana al 20% anual. Esta cifra resulta debatible, algunos la consideran muy pequeña mientras que otros la consideran optimista. Sin embargo, lo único que no resulta debatible es que, en el ámbito comercial, no se puede llegar a instalar alguna cantidad significativa de capacidad eoloeléctrica sin que antes se instauren las condiciones propicias para que sea económicamente factible instalar y operar los primeros 50 ó 100 MW.

En México, desde 1995, la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae) tiene el mandato específico de promover las energías renovables. En 1997, en el seno de la Conae se creó el Consejo Consultivo para el Fomento de las Energías Renovables (Cofer) en él participan distinguidas personalidades del sector público y de la iniciativa privada. Conae y Cofer han organizado una serie de eventos públicos donde se han presentado y analizado aspectos generales y políticas para la promoción de la energía renovable (De Buen Rodríguez, 2001). De igual modo, el Gobierno del Estado de Oaxaca ha venido promoviendo el desarrollo eoloeléctrico en el sur del Istmo de Tehuantepec (área conocida como “La Ventosa”) como un medio para impulsar el desarrollo económico

¹ Global Environment Facility / Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.

² Tomar en cuenta que la mayoría de los países listados en la Tabla 3 tiene más de diez años realizando esfuerzos para implantar la tecnología eoloeléctrica y que varios de ellos poseen tecnología propia.

Tabla 3. Estado actual y metas de capacidad eoloeléctrica en algunos países.

País	Capacidad eoloeléctrica actual (marzo del 2001, [Windsh,]) (MW)	Capacidad eoloeléctrica proyectada [IEA, 1999 y 2000]		Comentarios
		Año	(MW)	
Alemania	6,112	-	-	Metas no especificadas (MNE)
Estados Unidos	2,568	2005	5,000	5% de penetración (*)
		2010	10,000	
		2020	80,000	
Dinamarca	2,300	2030	5,500	40-50% de penetración (*)
España	2,235	2010	10,000	Suma de metas regionales
India	1,150	-	-	Sin información
Países Bajos	455	2020	2,750	
Italia	427	2010	2,500	
Reino Unido	406	-	-	MNE
China	302			
Suecia	231	-	-	Meta al año 2000 rebasada (200 MW)
Grecia	189	2005	350	
Japón	150	2012	300	
Canadá	140	-	-	MNE
Irlanda	118	-	-	MNE
Portugal	100	-	-	MNE
Finlandia	38	2005	150	
		2025	2,000	
Noruega	13	2010	1,100	Capacidad en enero del 2001
Australia		2010	900	

(*) El porcentaje de penetración se refiere a la aportación eoloeléctrica al suministro de electricidad para el ámbito nacional, no confundir con porcentaje de capacidad instalada.

en dicha región. En octubre del año 2000, el Gobierno del Estado de Oaxaca, con el apoyo del IIE, organizó un “Coloquio Internacional sobre Oportunidades para el Desarrollo Eoloeléctrico de La Ventosa, Oaxaca”, en él participaron distinguidos funcionarios de varias instituciones públicas, así como empresarios (nacionales y extranjeros) y representantes de instituciones financieras, instituciones de apoyo al desarrollo, centros de investigación, universidades y organizaciones civiles, entre otros. De hecho, éste fue el primer evento en México que se caracterizó por su orientación específica sobre las oportunidades y barreras para el

desarrollo eoloeléctrico en este país (CIODE, 2000). Se espera que en el corto plazo, los resultados de análisis sobre el tema de la generación eoloeléctrica se conviertan en sólidas iniciativas, que emanen de la Conae y/o del Cofer, con el fin de instaurar las medidas adecuadas para apoyar el desarrollo de la generación eoloeléctrica en México.

Conclusiones

Resulta claro que en las instituciones públicas y privadas de países industrializados aún existe importante actividad de I,D+D sobre la tecnología eoloeléctrica con el propósito de alcanzar la madurez real de la tecnología en el mediano o largo

plazo. La implantación de esta tecnología en varios de los países en vías de transición tiene un horizonte de tiempo que no rebasa el mediano plazo. Por lo tanto, resulta conveniente que en México, y en general en los países en transición, en el presente y a corto plazo la I+D,D sobre la tecnología eoloeléctrica se enfoque a los siguientes aspectos:

- Asimilar, aplicar, validar y, si es necesario, adecuar la metodología desarrollada en los países líderes.
- Formar recursos humanos especializados en los diferentes tópicos de la tecnología (técnico, ambiental, económico).
- Constituir elementos de apoyo técnico a la formulación de

estrategias y programas de implantación de la tecnología y planeación de los mismos.

- Conocer detalladamente y generar indicadores sobre las ventajas y limitaciones de las opciones tecnológicas de aerogeneradores.
- Constituir elementos de apoyo para la formulación de proyectos eoloelectricos y para realizar estudios de factibilidad técnico-económica.
- Prepararse para coadyuvar a la industria en los procesos de transferencia de tecnología.
- Coadyuvar en la asimilación de normas, especificaciones técnicas y recomendaciones.
- Constituir el punto focal de apoyo técnico para el seguimiento operacional de aplicaciones y evaluación de las mismas.
- Constituir el punto focal de identificación de problemas técnicos potenciales y anticipar soluciones.
- Fomentar la asistencia técnica internacional para mantenerse en el estado del arte de la tecnología y conocer sus tendencias, así como los elementos de éxito y de fracaso.
- Constituir el punto focal de difusión de información técnica digerida para el ámbito nacional.

Se ha demostrado que mediante esfuerzos conjuntos de instituciones de investigación de países en transición con fabricantes de aerogeneradores es posible mejorar la tecnología, adecuándola a las condiciones locales. Por ejemplo, en el Centro Brasileño de Energía Eólica se ha demostrado que mediante la adecuación de la geometría de aspas a un régimen de viento específico, se puede lograr un incremento cercano al 10% respecto al potencial de generación de electricidad. Este tipo de

resultados puede conducir a mejorar significativamente la rentabilidad de proyectos eoloelectricos en áreas específicas de desarrollo potencial, independientemente de que los modelos originales ya operen correctamente bajo condiciones diferentes.

En resumen, la I,D+D sobre la energía eólica en los países en vías de transición es fundamental ya que *saber cómo* no es suficiente, también se debe saber: *por qué, para qué, cuándo, de qué forma, cuánto, con qué y quién.*

Referencias

Borja Díaz, M.A. et al. Estado del Arte y Tendencias de la Tecnología Eoloelectrica. *Instituto de Investigaciones Eléctricas-Programa Universitario de Energía (UNAM), Cap. 4, ISBN 968-36-7433-X. Primera Ed., 1999. México, disponible en: <http://www.iie.org.mx/FnoC/eolica22/libroo/libro.htm>*

Carta del Comité Ejecutivo del “Acuerdo de Energía Eólica de la AIE” al Director de la Conae, en representación del Secretario de Energía durante el Seminario Internacional sobre la Implantación de la Energía Eólica, México, noviembre, 1999.

De Buen Rodríguez, Odón. “México: the sleeping RE giant?”. *RE FOCUS, Official Magazine of ISES (International Solar Energy Society), enero / febrero, 2001.*

Developing a New Generation of Sustainable Energy Technologies: Long-term R&D Needs. A Report on a Workshop of the Renewable Energy Working Party (REWP), París, octubre, 2000.

Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan. European Commission COM(97)599, noviembre, 1997.

Hiriart Le Bert, Gerardo. Visión de CFE sobre el desarrollo eoloelectrico en México. *Memorias del Primer Coloquio Internacional sobre Oportunidades para el Desarrollo Eoloelectrico de La Ventosa, Oaxaca, octubre, 2000, disponible en: <http://www.iie.org.mx/FnoC/eolica22/conscoloquio.htm>*

IEA Wind Energy Annual Report 1999. *Produced for IEA R&D Wind by National*

Renewable Energy Laboratory (NREL). Golden Co., Estados Unidos, 1999.

Memorias del Primer Coloquio Internacional sobre Oportunidades para el Desarrollo Eoloelectrico de La Ventosa, Oaxaca, disponible en <http://www.iie.org.mx/FnoC/eolica22/conscoloquio.htm>

Martinot, Eric; McDoom Omar. Promoting Energy Efficiency and Renewable Energy. GEF Climate Change Projects and Impacts. Global Environment Facility. Junio del 2000. Washington, D.C., Estados Unidos.

Wind Energy Newsletter. Agencia Internacional de la Energía, No. 14, noviembre, 2000

Wind Service Holland: Statistics World-Wide, disponible en: <http://home.planet.nl/~windsh/stats.htm>

Marco A. Borja

Ingeniero en comunicaciones y electrónica (1978) egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Guanajuato. En 1980 se incorporó al Instituto de Investigaciones Eléctricas como investigador en la hoy Gerencia de Energías No Convencionales (GENC).

En 1997 tomó el Curso Internacional sobre la Implantación de la Generación Eoloelectrica, impartido por la Fundación Holandesa de Investigación en Energía. Desde 1997 es el representante mexicano ante el Comité Ejecutivo del Acuerdo para la Cooperación en la Investigación y Desarrollo de Sistemas de Generación Eoloelectrica, en el seno de la Agencia Internacional de la Energía.

Miembro por invitación de la Red Iberoamericana de Generación Eólica, auspiciada por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Es autor principal del libro “Estado del Arte y Tendencias de la Tecnología Eoloelectrica”. maborja@iie.org.mx

Raúl González Galarza

Ingeniero mecánico electricista egresado de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). En 1984 se integró como investigador al IIE, en la hoy Gerencia de Energías No Convencionales, para colaborar en proyectos vinculados con el desarrollo y aplicación de sistemas convertidores de energía eólica; es coautor de una patente y un registro de marca sobre el tema.

Desde su ingreso al IIE ha participado y dirigido proyectos de desarrollo tecnológico en el área de la energía eólica. Ha impartido diversos cursos de actualización y publicado artículos técnicos y de difusión sobre el tema. rgg@iie.org.mx