

**Informe Sobre El Mercado Energético Global**

**Aprovechamiento de la energía eólica**

**Costos, emplazamientos y desarrollo tecnológico**

**Por Hernán F. Pacheco**

## Índice:

Introducción	3
<u>Análisis I</u> : ¿Dónde instalar una granja eólica? Emplazamientos y variaciones de vientos	5
✓ <i>Energía eólica y medio ambiente</i>	9
<u>Análisis II</u> : Desarrollo tecnológico para modificar los escollos a la implementación de energía eólica	11
✓ <i>Impacto en el paisaje</i>	12
✓ <i>Impacto en las aves</i>	13
✓ <i>Aproximación comunicacional. Restricciones políticas y sociales</i>	13
<u>Análisis III</u> : Re-actualización de los costos de los proyectos eólicos	14
✓ <i>Ejemplos en y para Argentina</i>	16
<u>Análisis IV</u> : Accidentes con energía eólica. Ejemplos de Alemania	23
✓ <i>Fallas y Peligros</i>	24
✓ <i>¿Hacia la desaparición de los gearbox?</i>	25
<u>Análisis V</u> : Expansión de la energía eólica alrededor del mundo	26
✓ <i>37.466 MW eólicos instalados en 2009</i>	29
Bibliografía complementaria	31

## Introducción

El siguiente trabajo permite afirmar que la energía eólica es una fuente de energía limpia y barata para la producción de electricidad. Uno de los argumentos más consistentes es que esta se presenta como una solución para responder a la dependencia de combustibles fósiles y a la reducción de los gases de efecto invernadero. Pero como todas las fuentes de energía presenta sus pros y contras. Este informe intenta ser una aproximación inicial para responder al dilema de la utilización o no de la energía eólica.



El recurso del viento como fuente de energía se presenta un problema asociado a la producción de electricidad a gran escala correspondiente a la intermitencia causada por la variabilidad e imprevisibilidad de las condiciones climáticas. Es importante percibir las causas de la intermitencia, siendo que, cuando se refiere a la variabilidad se habla de una variación/oscilación ante un valor y que cuando nos referimos a imprevisibilidad se pretende llevar al punto de la existencia o no del viento. Ante tal hecho es fundamental estudiar para este tipo de tecnología: el potencial y la previsión del viento.

La energía eólica se presenta para muchos como una solución aceptable por su característica renovable y para otros como una energía que acarrea incontables impactos ambientales. Así se asiste a una divergencia de opiniones, llevando a esta forma de energía a ser blanco de varias críticas. De esto se puede concluir diciendo que se posee una interpretación subjetiva. Aunque los parques eólicos tengan un pequeño impacto sobre el ambiente cuando es comparado con las centrales convencionales, hay algunos aspectos a considerar como son el ruido producido, el impacto visual, el impacto en la fauna y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En relación a la cuestión de la contribución o no de la energía eólica para la reducción de los gases de efecto invernadero no existe un consenso. En la producción de energía, es coherente que esta no emite gases que puedan afectar al medio ambiente, pero indirectamente esta acaba por producirlos como consecuencia de su carácter intermitente. La energía eólica no puede simplemente sustituir a las otras formas de energía, siendo que, en el caso de su utilización es necesario garantizar la presencia de las fuentes de energía primaria, contribuyendo de esta forma a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Las plantas eólicas pueden ser construidas en un año, lo cual permite que los políticos y los operadores de la red eléctrica puedan responder con más precisión a proyecciones de utilización eléctrica y cambios en el consumo a corto plazo. Otra de las ventajas que ésta presenta se debe a que se trata de naturaleza dispersa y descentralizada, lo cual le brinda a la red eléctrica mayor resistencia, estabilidad y seguridad para enfrentar amenazas naturales como terremotos, erupciones volcánicas, sequías y relámpagos. Es decir, si un fenómeno natural ocurre en un parque eólico, la red eléctrica continúa funcionando sin interrupción. En cambio, si éste sucede en una central de generación grande, la red entera podría sufrir un impacto. La operación de las centrales eólicas no

requieren de la adquisición de combustible tangible, por lo tanto, estas instalaciones no son susceptibles a la inflación. Sus costos operativos son muy bajos, lo que se traduce en tarifas eléctricas estables en el largo plazo.

El impacto visual es otra cuestión que es frecuentemente un tema de discordia. En algunos países europeos gran parte de la población está contra la implementación de torres eólicas en sus paisajes, debido a la presencia intrusita de la torre y a las impresiones visuales causadas por las palas. Hay también quienes ven la instalación de esta forma de energía de un modo más consciente y perciben que no se trata de un lujo sino de una medida para la reducción de los impactos ambientales.

Otro problema puesto en causa es el ruido probado por el funcionamiento de estas máquinas productoras de energía. A una distancia de 300 metros la turbina ya no produce más que el ruido de un frigorífico cuando funciona. Los avances tecnológicos en el *design* de los aerogeneradores redujeron drásticamente el ruido resultante de los componentes mecánicos existentes otrora. A pesar de algunas discusiones relativas a este impacto, el ruido originado es muy inferior al ruido causado por otros equipos modernos con los cuales interactuamos diariamente (en el presente informe mostraré algunos ejemplos como el alemán). Sin embargo, para evitar perturbaciones a las comunidades vecinas de un parque, se deben cumplir reglas para garantizar que las turbinas sean colocadas a una determinada distancia de los habitantes. Se constata que gran parte de los parques eólicos están localizados en lugares desabitados y en muchas situaciones en áreas con estatuto de protección, para que de esa forma no afecten a la población.

Otro argumento presentado como un posible impacto causado por esta forma de energía es la de la flora y la fauna. Pero es de destacar que antes de la construcción de un parque eólico es realizado, sin excepción, un Estudio de Impacto Ambiental, en el cual se analizan los potenciales riesgos para la flora y fauna local.

La experiencia de los países líderes del sector de generación eólica muestra que el rápido desarrollo de la tecnología y del mercado tiene grandes implicaciones socio-económicas. La formación de recursos humanos y la investigación científica recibieron incentivos con la finalidad de dar el soporte necesario para la industria de energía eólica en formación. En la actualidad, diversos estudios apuntan a la generación de empleo y el dominio de la tecnología como factores tan importantes en cuanto a la preservación ambiental y la seguridad energética. En la actualidad, varios son los países en los que el gobierno promueve la construcción de grandes parques eólicos, incentivando a las empresas privadas con generosos subsidios y reglamentación de apoyo, exigiendo medios para después comprarles la energía eléctrica, al costo por ellos estipulados. La energía eólica como ya fue referido posee el problema del desperdicio asociado a la producción de la energía eólica cuando no requiere de su necesidad. Así, recurriendo a métodos de almacenamiento esta fuente podría hacer una energía mucho más confiable, en la cual la intermitencia dejaría de ser una desventaja tan relevante. Este tema será planteado en posteriores informes.

El hecho que la energía eólica se presente como una fuente limpia no deja dudas de que tiene que ser aprovechada. Además se trata de aprovechar un recurso natural renovable. Pero, no debe olvidarse que existen otras fuentes de energía de carácter limpio con particularidades muy atractivas. Con el aumento del precio del petróleo y con el objetivo de reducir las facturas de electricidad, la energía eólica se presenta como una de las soluciones, pero, una de las soluciones que tiene que ser fuertemente analizada debido a las consecuencias que conduce.

## **Análisis I: ¿Dónde instalar una granja eólica?** **Emplazamientos y variaciones de vientos**



La viabilidad de una instalación eólica depende de la evaluación técnica, económica y legal. La primera corresponde a la elección del lugar adecuado mediante un análisis del clima eólico y la geografía física del sitio para determinar la producción de energía anual, la selección de la turbina y su integración a la red eléctrica considerando la estabilidad y el comportamiento de las variables nodales (tensión y frecuencia) en estado estacionario y dinámico.

La segunda corresponde a la valoración de la inversión, los costos de operación y mantenimiento, los costos administrativos, la valuación de la energía considerando la capacidad del sistema y el beneficio social y finalmente el análisis de la estructura del proyecto, los riesgos, las variables económicas y el análisis de sensibilidad.

La tercera corresponde al análisis de los aspectos legales existentes cuyo impacto sobre los anteriores modifiquen la rentabilidad del emprendimiento eólico.

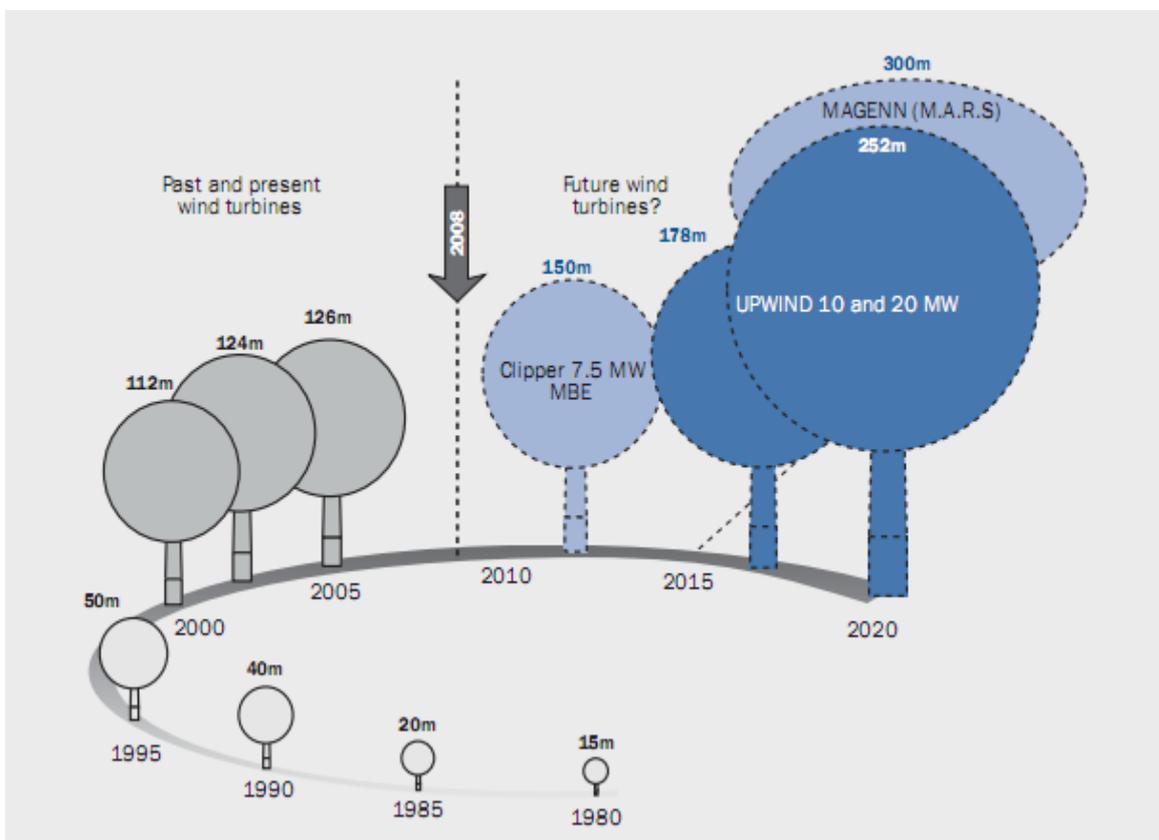
En los últimos años se ha asistido a un

gran desarrollo de la industria eólica internacional, tanto en su diversidad geográfica como en el tamaño de las instalaciones, que han pasado de tener unas pocas decenas de megawatts de potencia instalada a agrupaciones de varios cientos de MW, acompañándose este desarrollo de una importante avance tecnológico en los modelos de aerogenerador, cada vez más eficientes, y con una mayor potencia unitaria (en torno a 2 MW) y diámetros de rotor (del orden de 90 m).

Después de explorar distintos conceptos (maquinas de una y dos palas, aerogeneradores de eje vertical, máquinas de velocidad constante, etc.) la topología más extendida y que se ha establecido como estándar en la industria es lo que es conocido como “*Concepto Danés*”, es decir, una turbina eólica de tres palas de eje horizontal con el rotor a barlovento<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> El gran desarrollo de la aplicación de la energía eólica para la generación de electricidad se inició en Dinamarca en 1980 cuando las primeras turbinas fueron fabricadas por pequeñas compañías de equipamientos agrícolas. Estas turbinas poseían capacidad de generación (30-55 KW) bastante reducida comparada con los valores actuales. Las políticas internas favorecieron el crecimiento del sector, de modo que, actualmente, Dinamarca es el país que presenta la mayor contribución de energía eólica en su matriz y es el mayor fabricante mundial de turbinas eólicas.

En este escenario y para alcanzar los anteriores objetivos europeos y mundiales del sector eólico, que contribuyan al desarrollo de las energías renovables a nivel global, será necesario un fuerte esfuerzo inversor. Para la toma de decisiones de inversión en el sector eólico, uno de los principales factores a analizar es el potencial de los emplazamientos en cuestión, principalmente la producción energética media anual esperable durante la vida útil del parque eólico. Dado que los emplazamientos de mayor recurso han ido ocupándose durante los años anteriores, y cada vez con mayor frecuencia se estudian proyectos situados en áreas de menor recurso (aunque en las cuales, debido al gran avance tecnológico de los últimos años, se irán instalando aerogeneradores cada vez de mayor tamaño y con mayor eficiencia energética), a la hora de analizar la rentabilidad de un proyecto eólico resulta imprescindible evaluar cuidadosamente mediante herramientas estadísticas todos aquellos parámetros representativos de su potencial.



**Crecimiento del diseño de los tamaños de las turbinas comerciales con el correr de los años**

Si bien la tecnología progresa notablemente es muy problemático plantearse hasta qué tamaño podrán crecer las turbinas. ¿Será viable una turbina de 10 MW o de 100 MW? Es difícil prever el límite pero este gigantismo puede asustar. Una turbina eólica de 10 MW tendría una hélice de aproximadamente 178 metros de diámetro y una de 100 MW tendría una hélice de 563 m. La altura de la torre también tiene sus límites. A mayor altura, el viento es más fuerte, más constante y con menor turbulencia pero en las torres altas el costo crece rápidamente con el incremento de la altura, no pudiendo compensar el aumento de la velocidad del viento. Para torres tubulares de acero, el óptimo se ubica entre los 90 y 100 metros, sin embargo, se debe tener presente que pueden existir serias limitaciones locales en el lugar donde se instalan las turbinas por la necesidad de contar

con grúas muy grandes, no siempre disponibles. También debe tenerse en cuenta que las torres de acero de diámetros mayores de 4 m son muy difíciles de transportar.

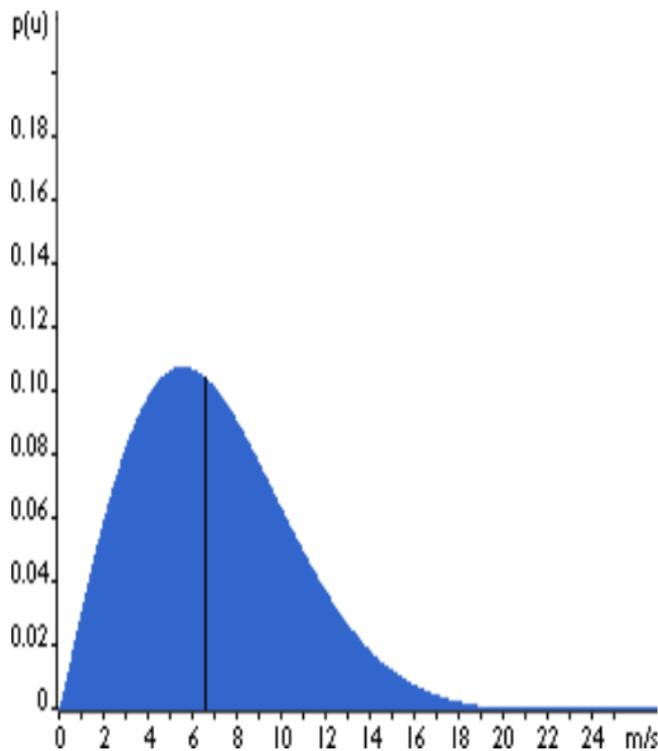
Las ciencias de la atmósfera, ya sea en las diferentes especialidades relacionadas con la meteorología o con la climatología, hace un amplio uso de diferentes métodos estadísticos. Así, la comprensión de un fenómeno fundamentalmente atmosférico, como es el potencial de un emplazamiento donde se proyecta un parque eólico, provendrá en buena parte del análisis estadístico de esos datos.

Para la evaluación del recurso eólico durante la fase de prospección en un emplazamiento específico, se realizan mediciones de viento mediante la instalación de torres anemométricas en varios puntos del proyecto. De igual forma, también se recopilan registros históricos provenientes de estaciones meteorológicas con un número significativo de años de medidas. Estas mediciones de viento consisten en series temporales de datos de velocidad y dirección de viento, así como otros parámetros tales como la desviación estándar de la velocidad, presión atmosférica y temperatura. Mediante métodos estadísticos, se analizan las series temporales de viento. Se evalúan parámetros tales como la velocidad media a las diferentes alturas de medición (con las que se extrapolará mediante modelos teóricos la velocidad de viento a la altura de los aerogeneradores proyectados), distribuciones de frecuencias de direcciones (también denominadas “*rosas de viento*”, que representa el porcentaje de tiempo en que el viento proviene de una determinada dirección) y distribuciones de frecuencias de las velocidades, así como sus aproximaciones analíticas, principalmente distribuciones Weibull, debido a la significativa similitud entre éstas últimas y las distribuciones de vientos reales, que se obtienen a partir de las series temporales de datos medios de velocidad de viento<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> <http://www.talentfactory.dk/en/tour/wres/weibull.htm>

## Descripción estadística de las velocidades del viento



- **Mediana:** 6,6 m/s,
- **Media:** 7 m/s.
- **Moda:** 5.5 m/s.
- los fuertes vendavales ( $v > 14$  m/s) son raros y los vientos moderados son los más comunes.
- experimentalmente se ajusta a la 'función densidad de probabilidad de Weibull'.

Gráfica de distribución de probabilidades del viento

La distribución de direcciones, “*rosas de viento*”, citadas anteriormente resultan de gran importancia, especialmente para el diseño de la implantación de aerogeneradores, a fin de ubicar las máquinas en función de la variabilidad direccional del régimen de viento en todo el emplazamiento, de modo que se optimice la instalación desde un punto de vista energético, reduciendo al máximo las pérdidas por estelas. De igual forma, el estudio de la distribución de frecuencias de las velocidades, es decir, la distribución de probabilidades de velocidades de viento, resulta imprescindible para determinar el potencial eólico disponible.

Como se ha indicado anteriormente, la expresión analítica más usada en estudios de recurso eólico para representar la probabilidad de velocidades de viento es la distribución Weibull que, en función de los dos parámetros que la definen, permite la evaluación de varias propiedades importantes de las características del viento, como por ejemplo la probabilidad de que existan velocidades de viento superiores a una determinada, la probabilidad de que existan velocidades de viento entre dos límites de interés, la velocidad media, así como una estimación de la energía producible en el punto de interés, al comparar su distribución Weibull asociada con la curva de potencia del aerogenerador estudiado.

Por otra parte, se emplean diversos métodos estadísticos para determinar el modelo de aerogenerador más adecuado para cada emplazamiento, con objeto de seleccionar una determinada máquina para la que, en función del régimen de viento presente en un proyecto, no se sobrepasen sus condiciones de diseño. Así, mediante herramientas estadísticas se estudian, como casos más destacados, la intensidad de turbulencia ambiental,

dependiente de la velocidad media promediada cada 10 minutos y de la desviación estándar de la velocidad de viento, o el valor extremo de la velocidad, definido como la velocidad máxima, en medias de 10 minutos, que se puede dar en el emplazamiento del proyecto y a la altura de los aerogeneradores, con un periodo de recurrencia de 50 años. Este valor extremo de la velocidad, en determinados casos, se calcula mediante una distribución estadística concreta (Gumbel).

Es importante tener en cuenta que junto al análisis estadístico se sitúa la noción de incertidumbre. Los procesos atmosféricos no son constantes o estrictamente periódicos, sino que exhiben variaciones y fluctuaciones irregulares, por lo que los métodos estadísticos utilizados en meteorología vendrán unidos a un cálculo de la precisión de las estimaciones

## Energía eólica y medio ambiente

La energía eólica es uno de los más ecológicos métodos de producción de electricidad, evitando así la producción directa de contaminantes atmosféricos y de gases de efecto invernadero que son generados por los combustibles fósiles en la producción de electricidad. La **American Wind Energy Association (AWEA)** desarrolló un conjunto de estadísticas para cuantificar y comparar las emisiones de la energía del viento con otros combustibles, con base en los datos recogidos por el **U.S. Department of Energy's Energy Information Administration (EIA)**<sup>3</sup>

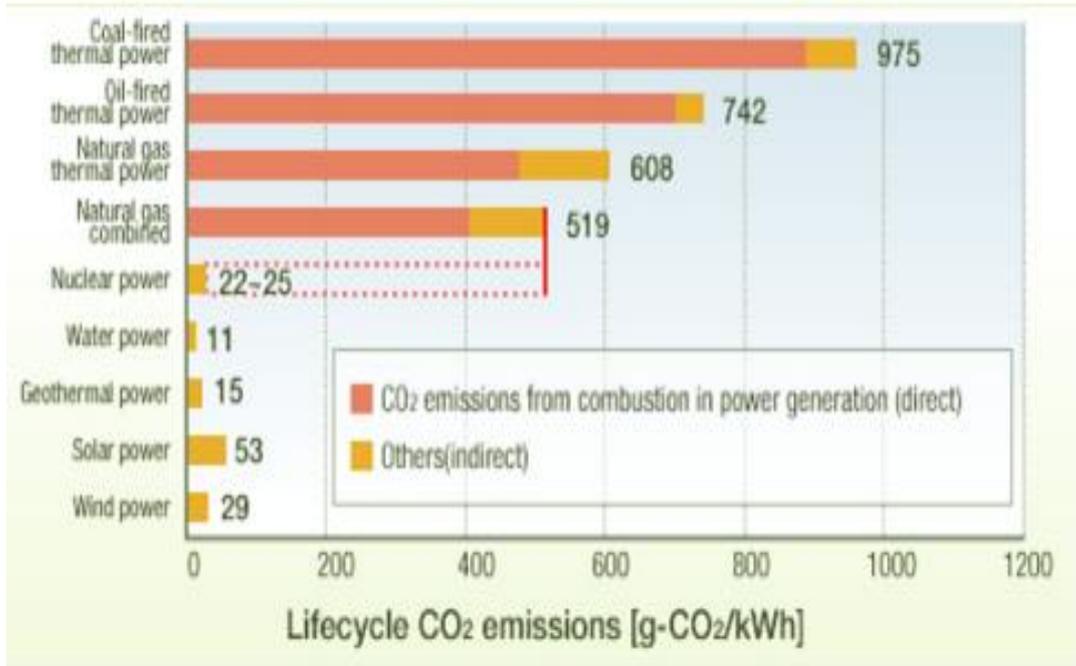
Fuel	CO <sub>2</sub> Emitted Per Kilowatt-hour (kWh) Generated (in pounds)	KWh Generated, 1997 (billions)	CO <sub>2</sub> Emitted, Total Generation (billion pounds)
Coal	2.13	1,788	3,807
Natural Gas	1.03	283.6	291
Oil	1.56	77.8	122
U.S. Average Fuel Mix [2]	1.52	3,494	5,313
Wind	--0--	3.4	--0--

Después de observar los valores del gráfico se puede hacer la comparación entre cada unidad (kWh) de energía eléctrica generada por turbinas eólicas y la misma energía que sería generada por una central convencional de producción de energía eléctrica. Al realizarse ese análisis, se observa que la energía eólica presenta grandes ventajas en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y en la reducción de la concentración de CO<sub>2</sub> durante su operación.

Por otra parte, en un estudio realizado por el grupo **Hitachi** se puede observar la comparación de emisiones de CO<sub>2</sub> para las diferentes tecnologías de producción de energía

<sup>3</sup> American Wind Energy Association. "Comparative air emissions of wind and other fuels", 2008.

eléctrica. Analizando el gráfico a continuación se verifica la existencia de cuatro tecnologías con menor producción de emisiones, aunque, en la actualidad, sólo las grandes hidroeléctricas sean competitivas. Estas poseen como todas las fuentes de energía algunos inconvenientes, provocando el deterioro de la vegetación sumergida en las grandes reservas, los cuales producen una cantidad substancial de gases de efecto invernadero, siendo el metano, el principal gas. Estas cuatro tecnologías pueden así contribuir para una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub><sup>4</sup>.



<sup>4</sup> Power Systems Central Research Laboratory. "Assessment of generation technology through lifecycle co2 emissions", 2007.

## **Análisis II: Desarrollo tecnológico para modificar los escollos a la implementación de energía eólica**

Razones tales como, excesivo ruido, impacto visual negativo<sup>5</sup>, muerte de aves por colisión con las palas, elevado precio de instalación, etc., son problemas que se han solucionado o reducido mediante el desarrollo tecnológico, una adecuada ubicación de las plantas eólicas y un diseño apropiado de medidas correctoras en los proyectos que minimizan, en gran medida, los impactos sobre el entorno, facilitando su reversibilidad a corto plazo.

La implantación de un parque eólico origina una potencial alteración del ambiente sonoro local, por lo que su influencia debe ser convenientemente estudiada y, cuando sea necesario, controlada y/o minimizada en la proximidad de las comunidades o núcleos habitacionales, según el estudio “*Parques Eólicos- Estudo dos Impactes no Ambiente Sonoro I- Influência no Ruído Local*”, realizado en el contexto del desarrollo en Portugal de los parques eólicos.

La evaluación del ruido generado por el normal funcionamiento de los aerogeneradores que constituyen un parque eólico tendrá por base (1) una caracterización del ambiente sonoro existente en el área envolvente del parque, antes de la instalación de los aerogeneradores y (2) un análisis acústico provisional del ruido que será observado en los mismos locales, durante el pleno funcionamiento de la iniciativa. Este considerará las características de potencia de los diferentes aerogeneradores, su localización espacial y las características topográficas de los terrenos. Mientras las potencias de las máquinas determinan sus emisiones sonoras, su localización y la orografía de la zona determinarán la propagación acústica y el establecimiento de los campos sonoros en los receptores eventualmente existentes<sup>6</sup>.

La dimensión de las torres y de las palas de los aerogeneradores han crecido con el consecuente crecimiento de la potencia de las máquinas. El ruido producido por el movimiento de las palas, de origen aerodinámico, puede ser considerado perturbador en determinadas condiciones, expresamente en el periodo nocturno, para usos sensibles. El ruido generado por la operación normal de los aerogeneradores depende de su constitución pero aumenta con la velocidad del viento. Por otro lado, los aerogeneradores son dimensionados para velocidades del viento elevadas. Con elevadas velocidades del viento, el ruido ambiente asume niveles sonoros que difieren substancialmente de los valores que subsisten en la ausencia de viento. La evaluación acústica debe tener en consideración todos estos aspectos fundamentales.

El inconveniente de la contaminación acústica es cada vez menor. La tecnología ha conseguido que los aerogeneradores hagan poco ruido. Ha cierta distancia el efecto sonoro es nulo. Actualmente, durante el diseño de la disposición de los aerogeneradores en el parque eólico, se establecen zonas de amortiguamiento que alejan los aerogeneradores a una distancia prudencial de las casas habitadas en la zona del proyecto para disminuir los posibles efectos sonoros. Asimismo, no existe evidencia científica que indique que el

---

<sup>5</sup> Este impacto es de todos el más subjetivo, ya que depende del gusto personal la evaluación del paisaje con aerogeneradores como algo estéticamente bello o no.

<sup>6</sup> Deutsches Windenergie Institut. “*Environmental aspects and acceptance of wind energy, in: Eldorado summer school*”. 1996.

incremento de la presión sonora debido a los aerogeneradores, tenga algún tipo de influencia negativa en la salud de los animales o personas.

Según la **British Wind Energy Association**, *“los aerogeneradores bien diseñados normalmente son silenciosos, y si los comparamos con el ruido del tráfico, de los trenes o del transporte aéreo, por nombrar sólo algunas actividades humanas, el ruido que producen es muy bajo. Normalmente no se instalan a menos de 300 metros de la casa más cercana, y a menudo incluso más lejos, y a esa distancia su sonido tiene aproximadamente el mismo nivel que un río que fluye a 50 metros de tu casa, o el ruido que hacen las hojas de los árboles cuando hay brisa”*.

Las labores de preparación del terreno previas a la instalación de la actividad (movimiento de tierras, allanamiento y desbroces) modifican la estructura del suelo destruyéndolo de forma irreparable. La superficie afectada se limita a la plataforma de los aerogeneradores y a los caminos de acceso. En ambos casos la pequeña extensión del área afectada supone que los impactos sobre el suelo, ocasionados por esta actividad se consideren impactos directos, negativos y de limitada extensión. En todo caso, se pueden minimizar los efectos adversos con las adecuadas medidas de restauración. Lo ideal es construir una central eólica en zonas despobladas con lo que los inconvenientes visuales y acústicos para los vecinos desaparecen. Pero esas zonas son de difícil acceso y requieren de la construcción de carreteras para la construcción, el mantenimiento y el transporte de la energía eléctrica. Se produce una alteración del medio y de la fauna en zonas hasta entonces muy bien conservadas.

## Impacto en el paisaje

Los aerogeneradores para aprovechar al máximo la fuerza del viento se colocan en zonas altas y de gran visibilidad. El impacto paisajístico pasa por ser uno de los principales impactos ambientales que la implantación de granjas eólicas ocasiona en su entorno. La valoración objetiva de este componente no resulta fácil debido, sin duda, al marcado componente subjetivo que conlleva todo estudio de paisaje al contar con el elemento humano para su análisis. Por este motivo se considera más oportuno realizar el análisis del paisaje desde un enfoque menos condicionado por el *“hecho cultural”*, siguiendo criterios capaces de cuantificar objetivamente el paisaje.

A los factores físicos y bióticos perceptibles en que puede dividirse el territorio se les denomina componentes de paisajes, que se corresponden con los impactos potenciales visuales causados por esta actividad: el aspecto de la superficie terrestre (relieve y morfología), el agua (redes de drenaje), la vegetación (tipo, distribución, densidad) y elementos artificiales (cultivos, rutas, aerogeneradores, etc). Vale mencionar que los postes que soportan las líneas de transporte de energía, y que existen por todas partes, son como mínimo igualmente intrusos.

Los efectos del impacto visual han sido minimizados, principalmente, con la conscientización de la población local sobre la generación eólica. A través de audiencias públicas, artículos y publicidad, la población local pasará a conocer mejor toda la tecnología. Después de conocer los efectos positivos de la energía eólica, los índices de aceptación mejoran considerablemente.

## **Impacto en las aves**

Impacto con las aves. Existen experiencias en el mundo, en las cuales se han instalado parques eólicos que han entrado en conflicto con rutas de aves migratorias; sin embargo estos parques del pasado no contaron con el apropiado sistema de estudio y evaluación que existe hoy, evitando así alteraciones mayores en el comportamiento y ecosistema de las aves. De todos modos, los niveles de mortandad creados por una granja eólica son ínfimos en comparación con otras causas como por ejemplo las colisiones con automóviles o con otras fuentes de generación de energía.

La localización de los parques eólicos puede de cierta forma afectar la fauna existente. Esto puede tener impactos negativos cuando se encuentran más próximas las turbinas eólicas de alimentación, migración, reposo y/o de los nidos de aves mayores. Los impactos causados en las aves pueden ser originados por la colisión de estas con las estructuras existentes en el parque eólico o entonces por la perturbación causada por la pérdida de hábitat.

Algunas áreas ecológicamente sensitivas (aunque no estén específicamente protegidas por las legislaciones) deberían quedar fuera de los límites permitidos para los proyectos eólicos. En algunos casos, sin embargo, pueden existir alternativas para mitigar o compensar los impactos sobre el hábitat que puedan existir. Por ejemplo se podría invertir en acciones de remediación fuera del sitio tales como plantar árboles o la creación de hábitats para las especies desplazadas por los proyectos eólicos. Las medidas necesarias dependerán de la localización y de las especies amenazadas y debería determinarse en consulta con las agencias y organizaciones ambientales interesadas.

La importancia de la pérdida de vegetación asociada con un proyecto eólico por lo general depende del tamaño del área afectada y de si son afectadas sólo de un tercio a un quinto de la superficie total del área de una granja eólica. Dependiendo de la topografía del lugar, el diseño de rutas de acceso afectará la vegetación y producirá pérdidas. Las construcciones en áreas escalonadas pueden producir mayor disturbio a causa de que requiere más corte y rellenos extensivos y sistemas de caminos más complejos. La extensión de la limpieza del terreno depende de la velocidad del viento, duración y dirección, topografía, y la altura de las turbinas y su ubicación. En áreas forestadas, se requiere la limpieza permanente de un ancho considerable a lo largo del corredor de las turbinas.

## **Aproximación comunicacional. Restricciones políticas y sociales**

Al igual que todos los proyectos energéticos, el de una granja eólica debe pasar por un proceso de selección del lugar y de obtención del permiso y las aprobaciones necesarias para proceder a su construcción y operación. La selección del lugar óptimo requiere la evaluación de los recursos eólicos, el tamaño de la red y su disponibilidad, las restricciones políticas y sociales y la disponibilidad de los terrenos.

Los objetivos de este proceso son asegurar que la planta sea rentable, segura, ambientalmente sana y que haga un uso apropiado de la tierra. La selección de un sitio para la instalación de una granja eólica requiere muchas soluciones de compromiso. Este involucra opciones, las cuales deberán ser seleccionadas tratando hacer un balance de los beneficios propuestos por la estrategia de mitigación del impacto y los costos de tales medidas y también pensando la importancia relativa de los diferentes impactos. El hecho más importante que se debe tener en mente cuando se consideran los impactos son sus efectos sobre el costo del proyecto.

Hay mucho grupos diferentes e individuos involucrados en la determinación de la selección de un lugar para construir una granja eólica. Es importante entender los diferentes roles, intereses y prioridades de los distintos interesados que participan en el proceso. Usualmente los incluidos en el proceso son la empresa interesada en la construcción e instalación de la granja eólica, los gobiernos nacionales, provinciales y municipales y los grupos comunitarios, organizaciones ambientalistas y el público en general.

Los procesos de ubicación de centrales convencionales se han movido en la dirección de incrementar la participación del público en los primeros momentos del estudio. Si bien se impone una negociación adicional al hacer participar desde los comienzos al público, esto provee la oportunidad de resolver problemas antes que se tome la decisión final y se pueden reducir así los problemas ocasionales por eventuales litigios y los costos de retrasos asociados. Esta participación no es garantía de ausencia de problemas si no hay una difusión pública significativa, o interés de parte de este, sin embargo es generalmente deseable comunicar a la población respecto del proyecto propuesto lo más temprano posible.

La participación de la población provee una oportunidad, a los grupos e individuos afectados, para aprender respecto del proyecto y expresar sus opiniones. Las provincias o comunidades que tengan interés en futuras instalaciones de granjas eólicas deben desarrollar anticipadamente las leyes, ordenanzas y regulaciones para la utilización del sitio seleccionado para el emprendimiento. Los aspectos ambientales deben ser considerados cuidadosamente a fin de evitar impactos negativos y en cambio aprovechar todos los impactos positivos que esta fuente de energía puede aportar a la localidad.

## **Análisis III: Re-actualización de los costos de los proyectos eólicos**

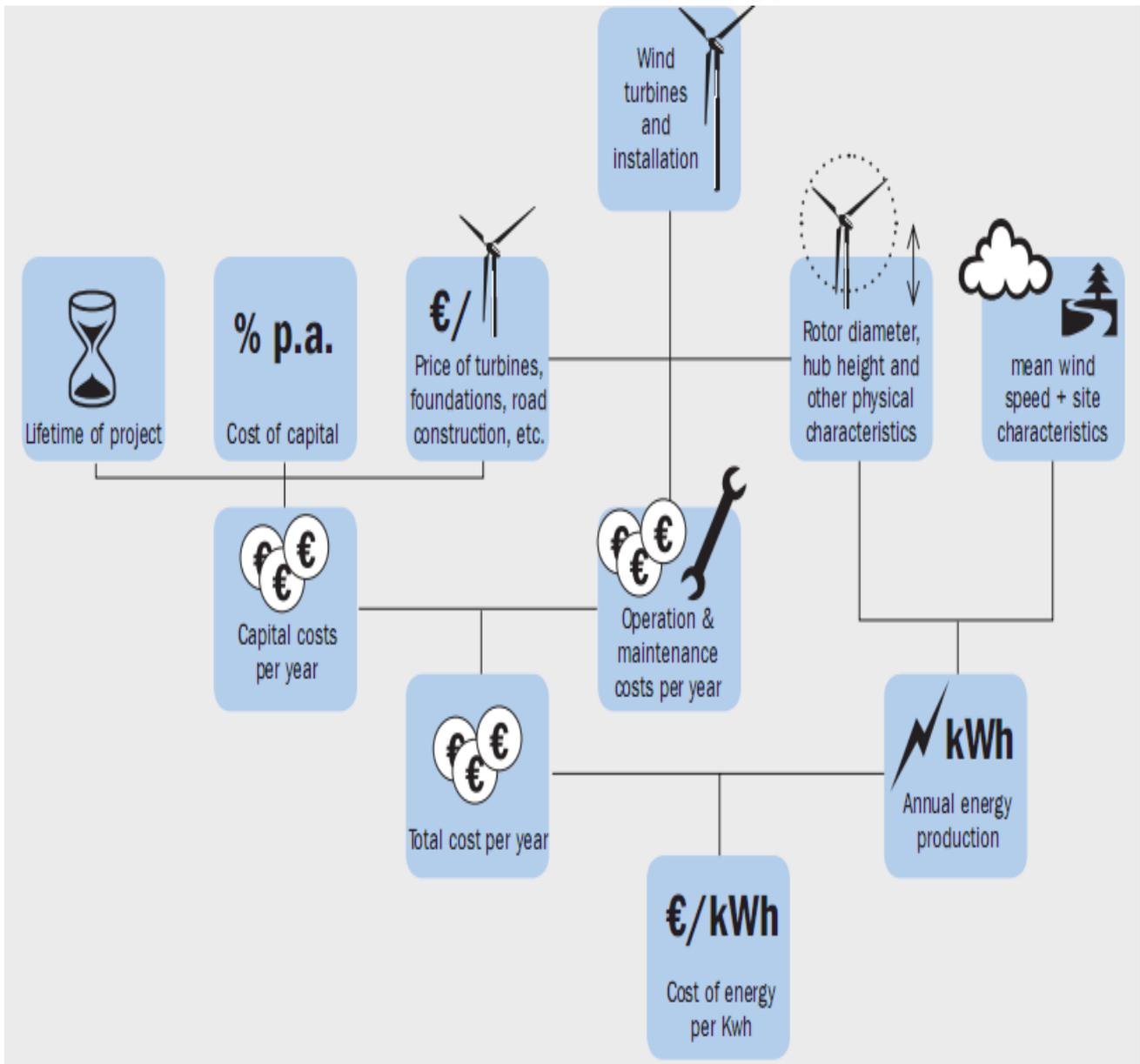
El costo de los equipamientos y de los proyectos eólicos, una de las principales trabas al aprovechamiento comercial de la energía eólica, se redujo significativamente los últimos años y viene contribuyendo para aumentar la instalación de capacidad eólica en el mundo. Un número mayor de fabricantes de aerogeneradores viene aumentando la competencia del sector, y el uso de tecnologías más modernas permite mejor aprovechamiento de los equipos. Hace siete años, las turbinas estaban más de 15% del tiempo paradas, mientras que actualmente este porcentaje no pasa del 3%. Las torres eran instaladas a alturas de 30 metros, cuando hoy llegan a 100 metros, aprovechándose de vientos más fuertes y frecuentes.

Una única turbina moderna produce cerca de 180 veces más electricidad que unos equipamientos de veinte años atrás. El costo de generación de energía eólica, que llegaba a 0,38 centavos de dólar por kWh en la década de 1980, cayó a 0,04 centavos de dólares en algunos parques construidos en 2001. Es verdad, sin embargo, que, aún con un mayor número de fabricantes en el mercado, desde 2003 los precios de los aerogeneradores (US\$/MW) subieron ligeramente, consecuencia del exceso de demanda sentido en el periodo. Ese movimiento de precios no debe perpetuarse en el largo plazo.

Vale decir que los aerogeneradores para bases offshore son más caros que los de las mismas potencias instaladas en tierra, a causa de los costos con sustentación de las turbinas y de la infraestructura eléctrica más compleja requerida para llevar la energía generada a la subestación. Los costos de operación y mantenimiento son también más elevados. El kWh generado en el mar tenía un costo equivalente al doble del costo onshore. Datos de mediados de 2009 indican que el costo offshore es un 40% mayor.

Otra diferencia entre los aerogeneradores onshore y offshore es la potencia. Los recientes aerogeneradores instalados en alta mar tienen capacidad para generar como mínimo 3 MW. Mientras más alejado de la costa, más lisa es la superficie de los océanos y esa baja rugosidad resulta en mayor velocidad de los vientos. Pero la velocidad no es el único factor que hace posible la instalación de aerogeneradores en una región; la estabilidad de los vientos es muy importante. En este caso, vale resaltar que la turbulencia en los océanos es bajo en razón de la pequeña variación de la temperatura en su vasta área y de la casi inexistencia de obstáculos. Esto crea condiciones ideales para la instalación de fábricas eólicas offshore.

A pesar de la popularidad de los modelos de tres palas, el sector viene innovando tanto en el diseño como en la tecnología, en la búsqueda de equipos más potentes. Recientemente, Maglev, la empresa que desarrolla investigaciones y productos en el área de magnetismo, presentó un prototipo cuyo objetivo es producir 1.000 MW y entrar en operación aún con vientos de bajísima velocidad (1,5 m/s). Con un diseño diferente de los tradicionales aerogeneradores de tres hélices, la nueva turbina tiene incontables palas verticales, que le dan el aspecto de un mega edificio. Utilizando la levitación magnética, las palas se vuelven por encima de la base del equipamiento y giran sin roce, ocupando un área de hasta 100 acres. La turbina tendría el costo de mantenimiento un 50% inferior al de los aerogeneradores convencionales y durabilidad 25 veces mayor. Se estudia, por el momento, la viabilidad comercial de este proyecto.



## Ejemplos en y para Argentina

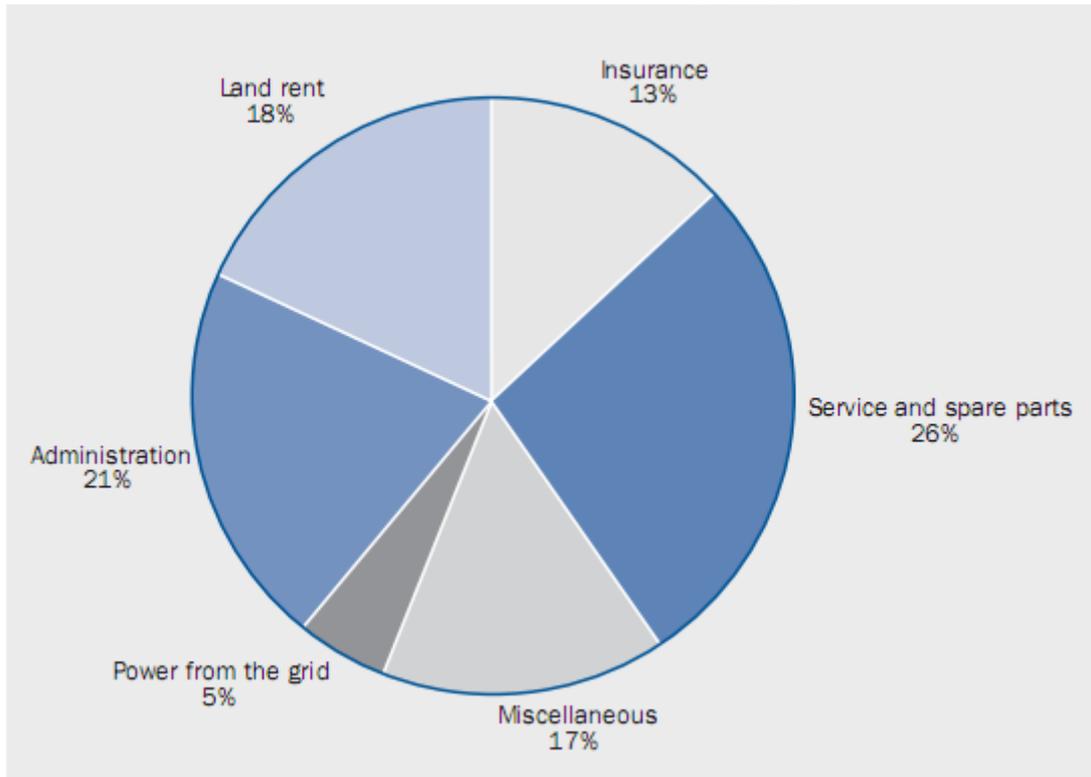
En el trabajo *“Generación Eólica: Análisis de la factibilidad de su desarrollo en la Republica Argentina”* (realizado en 2009), los ingenieros Horacio Di Pratula y Alberto Russin muestran un escenario sobre la instalación de un parque eólico en Argentina. Considerando un parque de 50 MW de potencia -25 equipos de 2 MW cada uno- (módulo rentable de porte mínimo) y a un costo de inversión por equipo de 2.500 dólares/KW. Pactando el precio de la energía monómica (aproximadamente) considerando licitación o contrato con el MEM en 100 dólares/MWh, con un costo de operación y mantenimiento anual de 275.000 dólares/año (aproximadamente).

Hagamos un paréntesis aquí para analizar los costos de esta generación de energía. En general, las principales variables que componen el costo de generación de energía (US\$/MWh) son los costos de inversión, del combustible y de la operación y mantenimiento (O&M). En el caso de la energía eólica no hay dependencia de los costos de combustible, pero el costo de inversión es todavía mayor que el de las fuentes convencionales. Mientras tanto, los costos de las plantas eólicas están decreciendo, indicando que esa tendencia tiende a continuar debido a diversos factores como el desarrollo de mayores turbinas y más eficientes, avance tecnológico, reducción de costo de O&M, entre otros. Un factor extremadamente importante que contribuye a elevar el costo de la energía eólica es su factor de capacidad, en general, en torno a un 30%, alcanzando el máximo del 40%, mientras de las plantas convencionales varía entre 40 y 80%.

	INVESTMENT (€1,000/MW)	SHARE OF TOTAL COST %
Turbine (ex works)	928	75.6
Grid connection	109	8.9
Foundation	80	6.5
Land rent	48	3.9
Electric installation	18	1.5
Consultancy	15	1.2
Financial costs	15	1.2
Road construction	11	0.9
Control systems	4	0.3
<b>TOTAL</b>	<b>1,227</b>	<b>100</b>

#### Estructura de costos para una turbina de 2MW

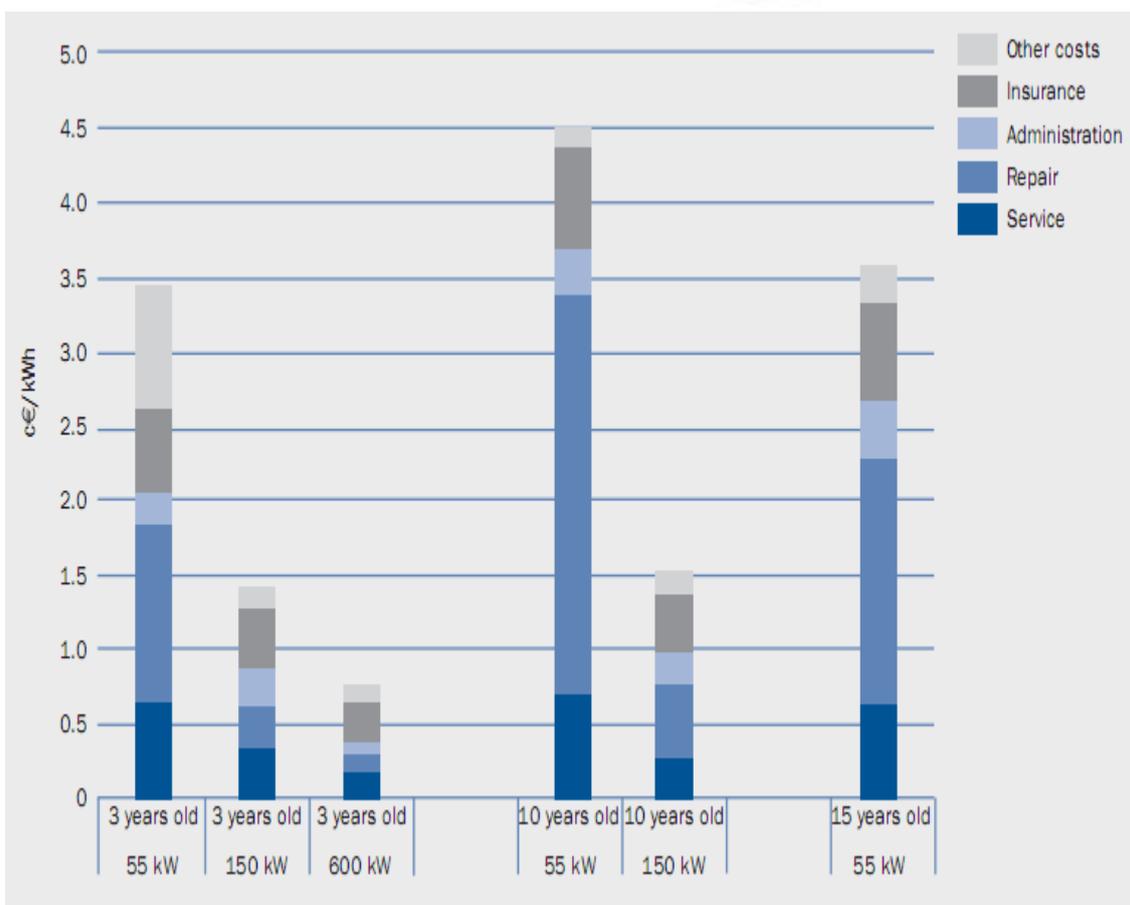
Los valores de los costos de O&M están relacionados con un número limitado de influencias: seguro, mantenimiento regular, reparación, piezas de sustitución y administración. Algunos de estos costos pueden ser estimados de forma relativamente fácil. Para los seguros y mantenimiento regular es posible obtener modelos de contratos comprendiendo una parte considerable de la vida total de la turbina eólica. A la inversa, los costos de la reparación y piezas de sustitución son mucho más difíciles de prever. Y aunque todos los componentes de los costos tiendan a aumentar a medida que la turbina se hace más vieja, los costos de la reparación y sustitución de piezas son influidas particularmente por la edad de la turbina, aumentando a lo largo del tiempo.



**Distribución de los costos de operación y mantenimiento**

En los dos primeros años de operación, esos costos anuales corresponden de 2 a 3% del costo de inversión, lo que equivale a 0,3 a 0,4 centavos de euro/kWh. Pasados 6 años, los costos ya son cerca de un 5% del costo de inversión, que corresponde de 0,6 a 0,7 centavos de euro/kWh. Considerando la totalidad de la vida útil, se estima que los costos de O&M equivalen de 1,2 a 1,5 centavos de euro/kWh.

La figura más abajo muestra los costos totales del O&M resultantes de un estudio danés y el modo de cómo estos son distribuidos entre los diferentes componentes. El valor del O&M depende del tipo, tamaño y edad de la turbina. Así, por ejemplo, para una turbina de 600 KW con tres años de edad, aproximadamente un 35% del costo total de la O&M corresponde a los costos de seguro, un 28% al mantenimiento regular, un 11% a la administración, un 12% a la reparaciones y piezas sustituidas, y un 14% para otros fines. En general, el estudio revela que los gastos de seguros, del mantenimiento regular y administración fueron bastante estables a lo largo del tiempo, mientras que los costos de reparación y piezas sustituidas fueron considerablemente víctimas de un aumento.



Costos de O&M para diferentes tipos de turbinas y edades

Cerca de un 75% del coste total de la inversión en turbinas eólicas está relacionado con los costos iniciales, como el coste de la turbina, fundación, material eléctrico, conexión a la red y otros costos. No existe un único valor de precio y de costo de energía para el parque eólico. Ambos dependen de la localización, del tamaño y de la cantidad de turbinas, además que son influidos por políticas de incentivo o subsidios concedidos por los gobiernos. Los costos iniciales de inversión –costo de equipamiento, estudio de viabilidad, instalación, etc. –y de O&M son esenciales para determinarse los costos finales de la tecnología<sup>7</sup>.

La tabla de abajo muestra las condiciones económicas de intercambio de energía con red eléctrica argentina en línea de 132 kV.

Análisis económico	Venta de Energía a USS 110/Mwh	Venta de Energía a USS 120/Mwh	Venta de Energía a USS 130/Mwh
<b>Contrato con ENARSA o aplicación resolución 220</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>TIR</b>	<b>13%</b>	<b>14%</b>	<b>16%</b>
<b>Retorno de la inversión</b>	<b>7.25 años</b>	<b>6.7 años</b>	<b>6.17 años</b>

<sup>7</sup> European Wind Energy Association. “The economics of wind energy”, Marzo, 2009.

### Análisis Económico. Diferentes Opciones de Intercambio de Energía

Si consideramos la posibilidad de que el proyecto ingrese en el Mercado de Bonos Verdes, la rentabilidad mejoraría, ya que un proyecto de 50 MW instalados reduciría la emisión aproximadamente en 10233 (TCO<sub>2</sub>/año) considerando la actual matriz energética, lo que equivaldría a un costo de reposición al medio ambiente de 1.375.321,75 dólares con un ahorro de 11.865 toneladas de petróleo y 13.392.144 m<sup>3</sup> de gas (los bonos verdes en 2009 cotizaban aproximadamente 10 euros).

La influencia de los bonos verdes en la ecuación económica debe tomarse con precaución, ya que no serán muchos los emprendimientos que lograrán el objetivo y, por lo tanto, no se puede basar la rentabilidad de un proyecto en este aspecto. La siguiente tabla muestra las mismas condiciones que las especificadas en la tabla anterior pero incluyendo los bonos verdes:

<b>Análisis económico</b>	<b>Venta de Energía a US\$ 110/Mwh</b>	<b>Venta de Energía a US\$ 120/Mwh</b>	<b>Venta de Energía a US\$ 130/Mwh</b>
<b>Contrato con ENARSA o aplicación resolución 220</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>TIR</b>	<b>28%</b>	<b>28%</b>	<b>31%</b>
<b>Retorno de la inversión</b>	<b>3.5 años</b>	<b>3.5 años</b>	<b>3.22 años</b>

### Análisis Económico. Diferentes Opciones de Intercambio de Energía incluyendo los bonos verdes

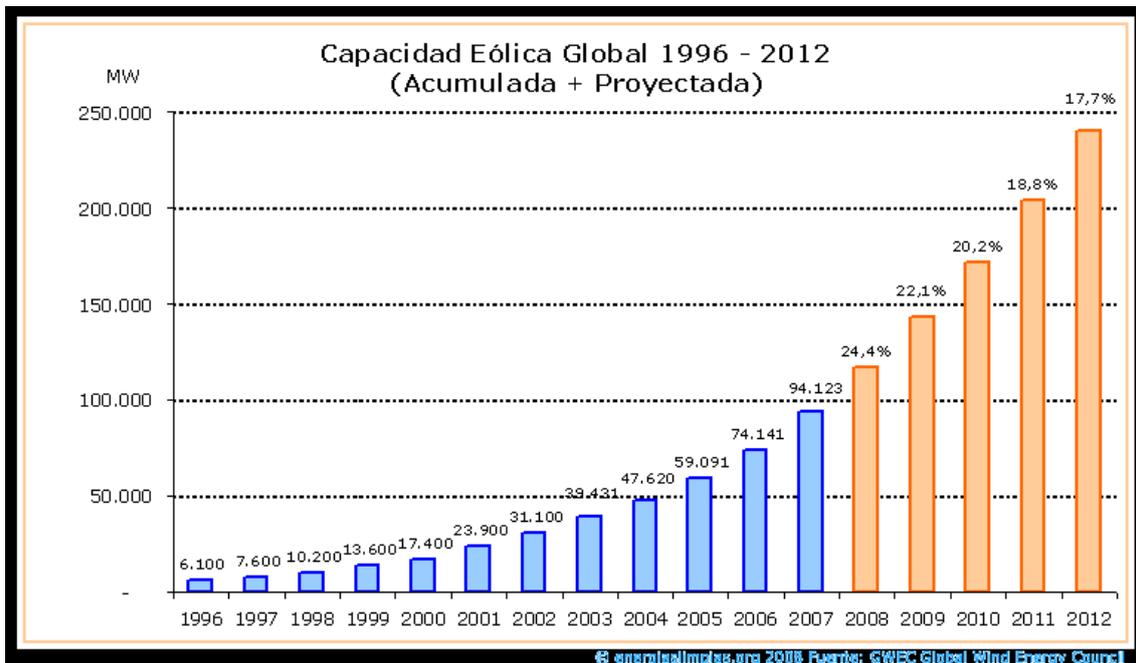
Dadas sus condiciones climáticas y geográficas, la Argentina, a priori, debería ser la primer potencia mundial en energía eólica. Posee gigantescas superficies ociosas donde construir parques y numerosas zonas con un factor de capacidad (FC) del 45%. El FC se define como: "*valor porcentual de la energía que una turbina eólica entregará durante todo un año en relación a la cantidad de energía que podría entregar una turbina trabajando el 100% del tiempo*". Inclusive varias zonas del sur de la provincia de Buenos Aires tienen un FC = 35%. La mayoría de los lugares de Europa donde la energía eólica está muy desarrollada, tienen un FC que ronda el 25%. Dinamarca, por ejemplo, genera el 20% de su electricidad del viento y es considerada una de las mayores potencias eólicas. Debido a los inconvenientes de espacio se ve obligada a construir parques en el medio del mar lo que aumenta significativamente el costo de sus proyectos.

La provincia de Buenos Aires en su zona Sur y costa Atlántica cuenta con numerosos estudios que indican "*a priori*" importantes factores de utilización variables entre el 30% y 40%, un sistema de redes eléctricas altamente desarrollado y una topografía del territorio favorable para la implementación de parques eólicos de mediana y gran potencia. Por lo general, la granja eólicas onshore en Europa se encuentran en sitios con promedio de vientos del orden de 7 m/s. Existen también otras regiones en Argentina con vientos de intensidades medias entre 7 y 10 m/seg., no sólo en la costa atlántica de la provincia de Bs. As. sino también en varias provincias centrales<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> [www.argentinaeolica.org.ar/](http://www.argentinaeolica.org.ar/), "Potencial de energía eólica en Argentina", (19/8/2009)

Otro análisis sobre la inclusión de la energía eólica en Argentina, algo menos alentadora, fue realizado por el ingeniero del **Invap, Hugo Brendstrup**. En abril de 2009 hizo una revisión de números sobre el precio de la energía eólica. Si bien el precio monómico del MEM alcanzó los 45 dólares/MW, con fluctuaciones estacionales, a los generadores eólicos que quisiesen vender energía en este mercado mayorista no se les pagaría este valor, sino uno inferior. Se penaliza así el hecho de que la eólica no garantiza “*potencia firme*”, es decir suministro eléctrico que responda instantáneamente a los picos de demanda. Si algún eólico le estuviera vendiendo hoy al MEM, cobraría el precio spot horario, más potencia por las horas que corresponda, a la fecha de principios de 2009, menos de 30 dólares/MW, teniendo en cuenta que no percibiría el “*sobrecosto de combustible*” no los “*sobrecostos transitorios de despacho*”, reservados exclusivamente para las centrales que consumen combustibles líquidos. Esas tarifas no alcanzan aún a volver rentables a estos emprendimiento.

El Poder Ejecutivo argentino reglamentó la Ley 26.190, aprobada en diciembre de 2006 por el Congreso, que establece un régimen de fomento para el uso de fuentes renovables de energía. Allí se establece como objetivo lograr una contribución del 8% de la demanda en un plazo de 10 años a partir de su puesta en vigencia. Con un proyectado crecimiento económico de un 5% anual, el país deberá incrementar en 415 megawatts (Mw) por año su capacidad instalada dentro del segmento a fin de que -acorde a lo establecido por la ley- la generación eólica represente un 4% de la matriz energética doméstica en 2016<sup>9</sup>. En suma, dado que cada MW instalado tiene un costo de alrededor de 1,2 millones de dólares, la Argentina tendrá que desembolsar cerca de 500 millones anuales durante los próximos siete años.



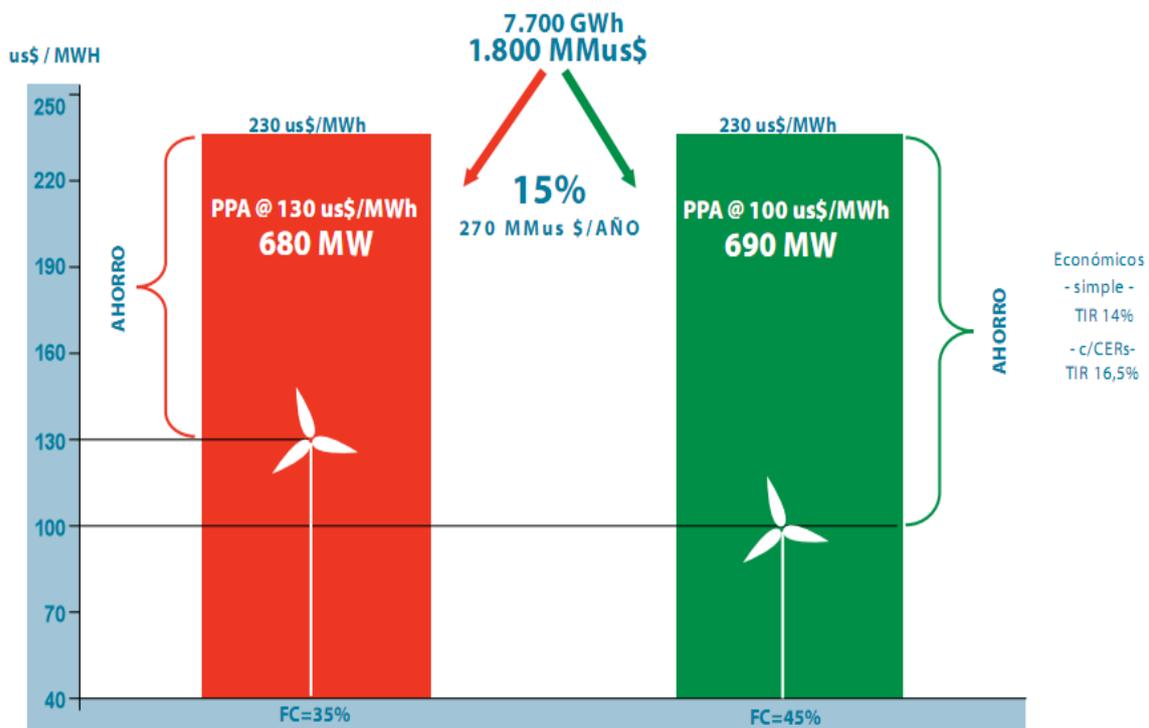
Los incentivos fiscales que se garantizan durante ese período a los inversores son la devolución anticipada del IVA o, alternativamente, la amortización acelerada del impuesto a las ganancias. Se crea además un Fondo Fiduciario de Energía Renovables, administrado por el Consejo Federal de Energía Eléctrica, que remunera con una prima de 15 pesos por MW a los generadores eólicos que vuelquen su energía en el MEM o la destinen a la prestación de servicios públicos. Para CADER la efectividad de la norma sería “*limitada, ya*

<sup>9</sup> Renewablesb2b, “Energía eólica: la Argentina debería invertir u\$s 500 millones por año para cumplir con la ley”, (8/1)

que lamentablemente no se establecen penalidad al incumplimiento de los volúmenes mínimos objetivo y la prima preestablecida resultaría así insuficientes para cubrir la brecha entre el precio spot (del MEM) y el costo medio total de generación eólico”.

También han sido creados en los últimos tres años otros programas, como “Energía Plus”, “Autogeneración Distribuida” y los “Contratos de Abastecimiento MEM”. Esta última opción data de enero de 2007 y habilita la realización de contratos de hasta diez años entre CAMMESA y las empresas que aporten nueva oferta de generación al sistema. Es, a juicio de la Cámara, “quizá la única normativa aplicable a la inversión en generación eólica en Argentina”. Para ser habilitados, estos proyectos deben contar con la participación del Estado Nacional, ENARSA o con quien el Ministerio de Planificación determine. Por su parte, “Energía Plus” obliga a grandes usuarios de más de 300 kW a contratar en el mercado la energía que consuman por encima de su demanda en 2005, y “Autogeneración Distribuida” contempla el caso de empresas que consumen y generan energía vinculada al sistema interconectado nacional (SADI). En estos dos últimos casos, deberían efectuarse modificaciones a la normativa para promover la participación de los generadores eólicos.

Según el informe del **Estado de la Industria eólica en 2009** realizado por **CADER**, Argentina gastó durante el año 2008 cerca de 1.800 millones de dólares en combustibles líquidos importados y en energía eléctrica de origen térmico comprada a países vecinos. Ese dinero fue destinado a la generación y compra de 7.700 GWh arrojando un costo promedio de 230 dólares/MWh. Un simple análisis nos dice que si se hubiese destinado, por ejemplo, el 15% de dicho gasto a la compra de energía eólica en contratos de largo plazo que viabilizasen proyectos, se podrían haber instalado cerca de 700 MW eólicos atrayendo inversiones por un valor cercano a los 1.500 millones de dólares. Una política de Estado en este sentido reemplazaría el “gasto” por “inversión” y además podría redundar en un significativo ahorro para el sistema.



## **Análisis IV: Accidentes con energía eólica. Ejemplos de Alemania**

Las turbinas eólicas siguen multiplicándose por todo el mundo. Pero a medida que se fueron haciendo cada vez más grandes, la cantidad de accidentes peligrosos fue aumentando. La revista alemana **Der Spiegel**<sup>10</sup> preguntó ¿Cuánto de segura es la energía eólica?

Vino sin ningún aviso. Una súbita ráfaga quebró la punta de la paleta del rotor con un fuerte ruido. El pesado fragmento de 10 metros de largo salió volando por los aires y se estrelló en un campo a unos 200 metros de distancia. La turbina eólica, de 100 metros de altura, se partió a principios de noviembre de 2006 en la región de **Oldenburg**, al norte de Alemania – y las consecuencias del evento recién ahora comienzan a ser aparentes. Sorprendidos por el accidente, la autoridad local de construcciones ordenó un examen de oras seis turbinas eólicas del mismo modelo. Los resultados, que finalmente salieron a la luz este verano, alarmaron al Administrado del Distrito, **Frank Eger**. De inmediato alertó al gobierno estadual de **Baja Sajonia**, escribiendo que había tenido que clausurar a cuatro turbinas debido a los problemas de seguridad. Era ya el segundo incidente en este distrito, escribió, añadiendo que las turbinas de esta marca, tipo y modelo podrían representar una amenaza en todo el país. La evaluación de expertos había descubierto posibles defectos de fabricación e irregularidades.

Después del boom de la industria eólica de los últimos años, los proveedores y expertos en energía eólica toman sus precauciones. Las instalaciones podrían no ser tan seguras y durables como sostienen sus fabricantes. De hecho, con miles de inconvenientes, roturas y accidentes reportados en los últimos años, parece ser que las dificultades se están multiplicando. Las “*gearboxes*” (cajas de engranajes de reducción) montadas dentro de cubículos en la parte más alta de los mástiles, tienen corta vida, a menudo se rompen antes de los cinco años. En algunos casos, se forman fracturas a lo largo de los rotores, o aún en los cimientos, después de sólo una limitada operación. Se conocen casos de cortocircuitos o hélices sobrecalentadas que provocaron incendios. Todo esto a pesar de las promesas de los fabricantes de que las turbinas durarían por lo menos 20 años.

Ya hubo que reemplazar a las cajas de engranaje de reducción “*en grandes cantidades*”, se queja la **German Insurance Association**. “Además de los generadores y las cajas de reducción, también las palas de los rotores están experimentando defectos”, afirma un informe sobre los problemas técnicos de las turbinas eólicas. Las compañías de seguros se quejan de los problemas que van desde los causados por un almacenamiento inadecuado a peligrosas rajaduras y fracturas.

Las frágiles turbinas que salen de



<sup>10</sup> *Der Spiegel* en inglés, “The Dangers of Wind Power”, (20/8/2007)

las líneas de ensamblaje en algunas fábricas amenazan con daños a una industria que durante años ha sido alabada por su gran éxito. El prodigioso éxito de la industria está llevando a sus desventajas tecnológicas. Muchas compañías vendieron innumerable cantidad de unidades sin tiempo de ensayar los prototipos. "*Sales Top, Service Flop*" (Ventas altas, servicio nulo) es el titular de un artículo de tapa que apareció en la revista **Erneuerbare Energie**. La historia informa sobre los desastrosos resultados de un cuestionario distribuido entre los miembros de la **German Wind Energy Association**, solicitando que califiquen a los fabricantes. Sólo la alemana Enercon logró un ranking de "bueno". La compañía produce turbinas sin cajas de reducción, eliminando así uno de los eslabones más débiles de la cadena.

Aún entre los aseguradores, que se lanzaron al nuevo mercado en los años 90, la energía eólica es considerada ahora un sector de riesgo. El gigante de la industria Allianz se tuvo que enfrentar con unos mil reclamos por daños sólo en 2006. En realidad, un operar tiene que esperar daños en su instalación cada cuatro años, sin incluir desperfectos y roturas no aseguradas. Muchas compañías de seguros aprendieron su lección y están ahora pidiendo nuevos requerimientos de mantenimiento –exigiendo a los operadores de las granjas eólicas que reemplacen los componentes vulnerables cada cinco años- directamente en los contratos. Pero el reemplazo de una caja reductora puede costar hasta el 10% del precio original de construcción, lo suficientemente alto como para hacer un profundo recorte en los beneficios anticipados. En verdad, muchos inversores tendrán desagradables sorpresas.

## Fallas y Peligros

Y las dificultades técnicas no están libres de peligros. Por ejemplo:

- En diciembre de 2006, los fragmentos de la pala de un rotor aterrizaron sobre un camino poco antes de la hora pico de tráfico cerca de la ciudad de Traer.
- Dos turbinas de viento se incendiaron cerca de Osnabrück y en la región de Havelland en enero de 2007. Los bomberos sólo pudieron mirar: sus escaleras no eran lo bastante altas para llegar a las casillas ardiendo a 100 metros de altura.
- El mismo mes, un turbina de 70 metros de altura se dobló en dos en Schleswig-Holstein –justo al lado de una autopista.
- Las palas de un rotor en Brandenburgo se desprendieron desde 100 metros de altura. Los fragmentos se incrustaron en un maizal cercano a una ruta.

En el **Allianz Technology Center (AZT)** en Munich, se examina cuidadosamente los restos de las turbinas derretidas. "*La fuerza que deben soportar los rotores es mucho mayor de lo que se había calculado anteriormente*", dijo el evaluador **Edwin Bauer**. Hace notar que la velocidad del viento simplemente no es lo bastante consistente. "*Todo el tiempo hay cambios en intensidad y la dirección de las ráfagas de viento*". Pero en lugar de trabajar para crear tecnología más eficiente, muchos fabricantes simplemente eligieron construir palas de rotores más grandes todavía, añade Bauer. "*Las máquinas grandes pueden tener mayor capacidad, pero las tensiones a las que están sujetas son aún más difíciles de controlar*".

Las vibraciones y los cambios de cargas causan fracturas, el agua se filtra en las fisuras, y el material comienza a oxidarse. Las reparaciones son difíciles, "*No se puede mirar dentro del concreto*," dice **Marc Gutermann**, un profesor de estática experimental den Bremen. "*No se trata de tan sólo cerrar las rajaduras desde arriba*." El experto en ingeniería sospecha que las culpas están en los errores de construcción. "*Las instalaciones siguen haciéndose más grandes*,"

dice, “pero el diámetro de los mástiles tiene que seguir siendo el mismo porque si no serían demasiado grandes para poder transportarlos por los caminos.”

## ¿Hacia la desaparición de los *gearbox*?

Ahora los fabricantes de turbinas eólicas se están alejando de las *gearbox* y los generadores estándar de la industria en un intento de impulsar la fiabilidad y reducir el costo de la energía eólica. **Siemens** empezó a vender una turbina de tres megawatts que usa un sistema llamado de accionamiento directo que reemplaza al generador de alta velocidad convencional con uno de baja velocidad que elimina la necesidad de una caja de cambios. Hace unos meses, **General Electric** anunció una inversión de 340 millones de euros en instalaciones de fabricación para construir sus propias turbinas de accionamiento directo de cuatro megawatts de uso para granjas eólicas offshore.

El cambio de la industria hacia el accionamiento directo es una respuesta a algunos fallos de las cajas de cambio de gran difusión. Sin embargo, algunos técnicos dicen que los problemas de las cajas de cambio son exagerados. Siemens está adoptando el accionamiento directo como medio para generar más energía a menor costo. Las turbinas se pueden hacer más competitivas a través de la transmisión directa.

Los planes de Siemens se basan en un nuevo diseño que reduce el peso del generador del sistema. En las turbinas eólicas convencionales, la caja de cambios aumenta la velocidad del rotor movido por el viento varios cientos de veces, lo que reduce radicalmente el tamaño del generador requerido. Los generadores de transmisión directa funcionan a la misma velocidad que las hojas de la turbina y, por lo tanto, que ser mucho más grandes- más de cuatro metros de diámetro para los motores de turbinas de 3 megawatts de Siemens. Sin embargo, Siemens afirma que la góndola de la turbina entera pesa sólo 73 toneladas métricas- 12 toneladas menos que sus turbinas de menor potencia basada en caja de cambios de 2,3 megawatts.

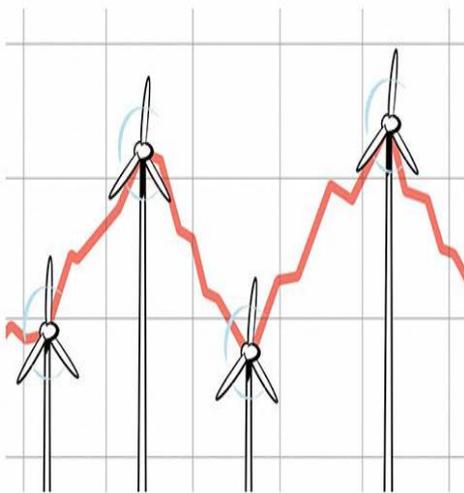
Gran parte de la reducción de peso proviene de la utilización de imanes permanentes en el rotor de los generadores –un truco que GE también está usando. Los generadores de turbina convencionales usan electroimanes, bobinas de cobre alimentadas con electricidad generada por el propio generador. **Henk Polinder**, experto en generadores de imanes permanentes de la **Delft University of Technology** en **Holanda**, afirma que un segmento de 15 milímetros de espesor de imanes permanentes puede generar el mismo campo magnético que una sección de 10 a 15 centímetros de bobinas de cobre.

Siemens redujo aún más el peso de su generador invirtiendo su diseño. En lugar de un rotor de acero cubiertos con imanes permanentes girando dentro de un estator fijo en forma de rosquilla (el diseño que GE está utilizando en su turbina de accionamiento directo de 4 megawatts), el rotor de Siemens es un cilindro de acero con imanes permanentes en el interior, y el rotor gira alrededor de un estator en forma de columna. Siemens construyó un prototipo de su máquina en **Brande, Dinamarca**, en diciembre y planea instalar 10 más este año, principalmente en Dinamarca, antes de comenzar la producción en masa en 2011. La tecnología de GE, que adquirió con la compra de la productora de turbinas noruega **ScanWind** el año pasado, se está testando en una zona de pruebas en Noruega; la comercialización de su máquina de cuatro megawatts está prevista para 2012.

Determinar si los fracasos de las cajas de cambios son un problema de toda la industria es algo que sigue siendo motivo de cierta controversia. El **Nacional Renewable Energy Laboratory (NREL)** inició su estudio en 2007, fecha en la que se vieron varios fallos: una empresa con sede en Estados Unidos, **Clipper Windpower**, tuvo graves problemas de cajas de cambio a los pocos meses de la instalación de la primera de sus turbinas de 2,5 megawatts en un parque eólico en **Lackawanna, New York**, al mismo tiempo que las cajas de cambios de 30 turbinas **Vestas Wins Systems** parte de la granja eólica marina **Kentish Flats** del Reino Unido tuvieron que ser sustituidas después de sólo dos años de funcionamiento. El NREL concluyó que la mayoría de las cajas de cambios de las turbinas de viento fallarían “*mucho antes*” de sus 20 años de vida diseñados.

Siemens dispone de estudios propios que muestran que las cajas de cambio son bastante fiables, en términos generales. Un análisis de 2008 de las máquinas de Siemens instaladas entre 1983 y 1989 en los Estados Unidos encontró que la “gran mayoría” sigue funcionando con sus cajas de cambio originales. Sin embargo, se espera un aumento de la fiabilidad mediante el sistema de accionamiento directo, que tiene aproximadamente la mitad de las piezas que una turbina convencional. Los sistemas de transmisión directa introducen otro problema potencial. Hay una preocupación permanente sobre la futura disponibilidad de los metales tierras raras que se usan para hacer imanes permanentes.

## Análisis V: Expansión de la energía eólica alrededor del mundo



La mayor granja eólica operativa en el mundo corresponde a **Lynn & Inner Dowsing**, en el Reino Unido, la cual aporta un total de 194.4 MW de energía. Desarrollada por **Centrica Renewable Energy**, cuenta con 54 turbinas. Bélgica decidió apostar por la eólica marina y fijar un objetivo de 40.000 MW para 2020 y 120.000 para 2030. Sólo el Reino Unido y Alemania tienen planes para instalar 30.000 y 10.000 MW de eólica marina respectivamente en los próximos años.

El Reino Unido es el referente en tecnología y desarrollos de este tipo. Actualmente, en el país se estudia un

proyecto para la instalación de 3.000 aerogeneradores en el mar, lo que se convertiría en el mayor parque eólico del mundo. Se especula que podría estar operativa para 2018. En tanto, 2005 fue excelente para España y Alemania, los dos países que tienen las mayores potencias eólicas del mundo. Ese año, las centrales de viento produjeron más electricidad desde sus aerogeneradores que desde las plantas hidroeléctricas. Hoy son una de las

fuentes energéticas más importantes de estos países, con una participación media anual del 10% y una capacidad instalada mayor a la de sus plantas nucleares. En España, la energía eólica batió records de producción y de potencia instalada.

Noruega, en tanto, es líder en tecnología. El próximo año, el país contará con la turbina más potente del mundo, a cargo de la empresa **Sway**, la cual planea construir un prototipo de 145 metros de diámetro y 162,5 metros de alto, la tendría la característica especial de no necesitar cimientos en el fondo del mar, contrarrestando la velocidad de los fuertes vientos marítimos con una serie de contrapesos. En primer lugar, se pondrá a prueba en tierra en **Oeygarden**, el suroeste de Noruega, durante dos años<sup>11</sup>. De acuerdo con la empresa, la turbina podría proveer de energía a 2.000 hogares y estaría terminada en 2011, para ser usada en un pueblo antes de su masificación en el resto del país. El proyecto tendrá un costo de 68 millones de dólares.

**Brasil** contará al final de este año con un nuevo parque eólico, que tendrá una capacidad instalada de 70 MW y una producción anual calculada de 211.437 MWh. El parque eólico de **Tramandaí**, el tercero en producción del país, consolidará a Brasil como el líder en la producción de ese tipo de energía en América



Latina, de acuerdo con la presentación realizada por la multinacional portuguesa **EDP Renovaveis**, responsable por la construcción del proyecto<sup>12</sup>. A la conclusión de este proyecto, prevista para finales de este año, la capacidad de generación eólica de la empresa se ampliará hasta casi 84 MW, de los cuales 13,8 MW corresponden a dos parques ya en funcionamiento en Santa Catarina. El proyecto Tramandaí, cuya producción energética está contratada íntegramente en el marco del programa de incentivos a las fuentes de energía renovables del gobierno brasileño (PROINFA), estará formado por 31 aerogeneradores (de 1,9 a 2,3 MW) con torres de 98 metros y palas de 40 metros que alcanzan una altura total de 138 metros, equivalente a un edificio de 50 pisos. Para dar una idea de su magnitud, un aerogenerador de 2,3 MW produce de 3 a 5 millones de kWh de energía limpia al año, cifra que corresponde al consumo de 1.600 hogares o 6.400 personas.

Instalado en la zona sur de la ciudad de Tramandaí, en una parcela de 832 hectáreas, este parque eólico debería generar cerca de 1.000 empleos en el periodo de mayor intensidad de las obras, cuando se construirán las vías de acceso, los cimientos, las torres, la subestación y la línea de transmisión.

Otro actor importante en Brasil es **IMPESA**, que ha puesto en marcha el segundo parque eólico en el estado de **Ceará** en Praia de Morgado. El parque eólico cuenta con 19 aerogeneradores IMPESA-V de 1,5 megawatts (MW), con rotor de 77 metros de diámetro y fabricados por la misma empresa, en una planta que abrió en el año 2008 en el estado de

<sup>11</sup> Tree Hugger "World's Biggest Wind Turbine Generates 10 MW And It Floats?", (15/2)

<sup>12</sup> Terra, "EDP Renováveis Brasil constrói parque eólico de 70 MW no RS", (24/3)

Pernambuco. El parque eólico Praia de Morgado es el segundo de una serie de tres parques eólicos en Ceará, con una inversión de 260 millones de dólares.

El primer parque eólico fue **Praias de Parajurú**, con 19 turbinas eólicas de tecnología propia y una capacidad instalada de 28,8 MW y el próximo parque eólico será Volta de Rio, con 42 MW eólicos. Los tres parques eólicos pertenecen en un 51% a IMPSA y en un 49% a **CEMIG**, y tendrán una capacidad eólica total de 99,6 MW. Los tres parques eólicos crearán 7.600 puestos de trabajo directo e indirecto.

Para el año 2012 está prevista la construcción de ocho parques eólicos adicionales en Ceará que resultaron ganadores en la última licitación de energía eólica promovida por el gobierno brasileño en diciembre de 2009. De esa forma, y con una inversión de 500 millones, habrá 311 MW de generación eólica en Ceará, suficiente como para abastecer a más de medio millón de hogares. En el sur de Brasil, en el estado de **Santa Catarina**, IMPSA está construyendo otros 10 parques eólicos, con 148 aerogeneradores eólicos y una potencia eólica total de 222 MW. La inversión total en estos parques eólicos asciende a 720 millones de dólares.

**México** también desarrollará iniciativas de este tipo. La filial mexicana de la española **Acciona Energía** construirá tres centrales eólicas en el sureño estado de **Oaxaca**, con una inversión total de 600 millones de dólares. La **Comisión Federal de Electricidad (CFE)** indicó que Acciona Energía ganó la licitación pública internacional para la construcción de las centrales eólicas Oaxaca II, III y IV, las que tendrán una capacidad conjunta de generación de 304,2 MW y entrarán en operación comercial en 2011. Los proyectos eólicos se localizarán en la región sur del **Istmo de Tehuantepec**, en Oaxaca, desde donde se interconectará al Sistema Eléctrico Nacional.

Estos parques eólicos forman parte del programa de diversificación de las fuentes de generación de la CFE, en congruencia con el objetivo del gobierno mexicano de alcanzar el 25% de la generación total de energía eléctrica del país con energías renovables en el año 2012. Funcionarán con aerogeneradores, cuya capacidad individual de generación no podrá ser inferior a 1.000 kilowatt, por lo que se estima que cada uno de los proyectos constará con un promedio de 101 aerogeneradores. La construcción de los parques eólicos tendrá una duración de 526 días. Durante su desarrollo se generarán aproximadamente 1.200 empleos directos y 1.000 indirectos.

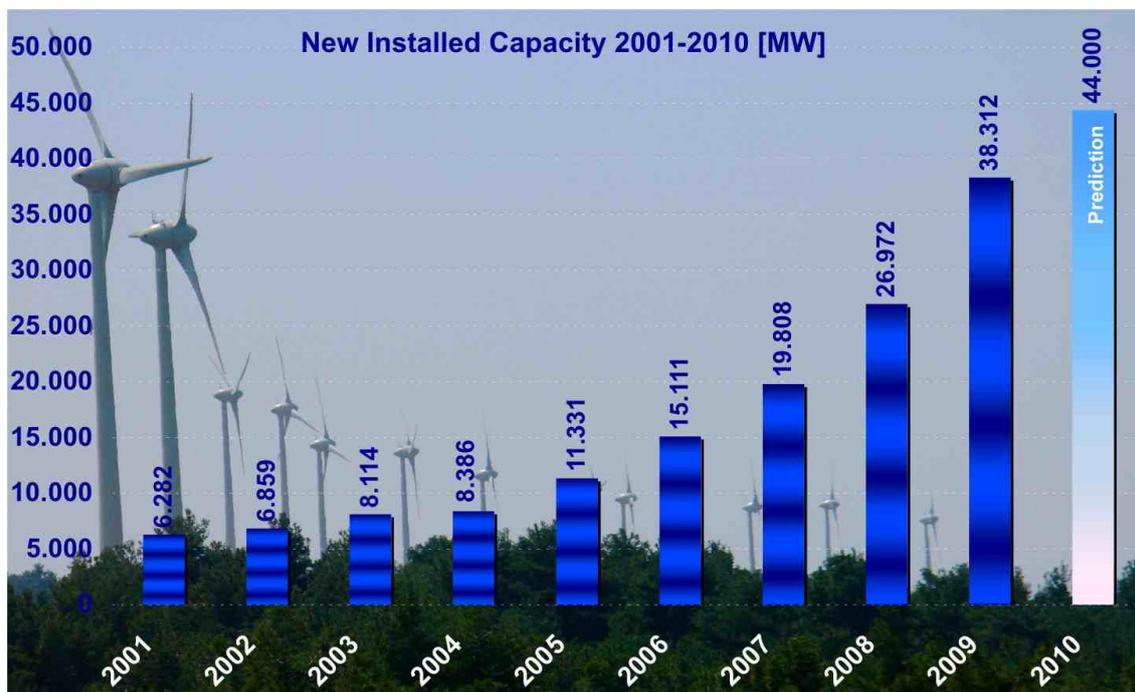
Los parques eólicas tendrán una generación conjunta neta de electricidad media anual de 1.129.29 gigawatts-hora (GWh). La empresa Acciona ofertó el mejor Precio Nivelado de Generación (PNG), con menos de 7 centavos de dólar por kilowatt/hora, por lo que los precios resultan competitivos en comparación con lo establecido en **Norteamérica** y **Europa**, en donde el kilowatt-hora se cotiza entre 9 y 10 céntimos de dólar.

En **Argentina**, la turbina eólica de la mina **Veladero** está instalada a más de 4.110 metros sobre el nivel del mar, pesa 229 toneladas y tiene una estructura de 100,5 metros, la que debe soportar fríos extremos, fuertes nevazones e intensos vientos, que superan incluso los 222 km/hr. En esas condiciones es capaz de generar hasta 2 MW, y así dotar con energía limpia para suplir el 20% de las necesidades de la mina Veladero, próxima al proyecto minero chileno-argentino Pascua-Lama. Al concretar una iniciativa responsable con el medioambiente en las difíciles condiciones climáticas que se viven en las más altas cumbres de la Cordillera de Los Andes, Barrick marcó un hito a nivel global. La compañía minera instaló el generador eólico emplazado a mayor altura de todo el mundo, según certifica el Libro de los Récord Guinness.

**Uruguay** dispone en la actualidad de un parque en **Sierra de los Caracoles** en el Departamento de Maldonado, a 140 kilómetros de Montevideo, que ya cuenta con 10 aerogeneradores de Vestas y una producción de 20 MW. Los primeros resultados

obtenidos fueron muy alentadores, al punto tal de disponer la instalación de un segundo parque eólico, emplazado junto al anterior.

El gobierno uruguayo pretende ampliar el porcentaje de generación de energía eólica de un 0,7% actual a un 8%, y la meta para el final del quinquenio es lograr un 25%<sup>13</sup>. Al ser Uruguay un mercado con futuro, Impsa invertirá en el sector eólico del país. Las primeras inversiones se centrarán en desarrollar un centro de servicios para la industria eólica que ofrezca soporte técnico a los parques que inicien su funcionamiento en el país. Asimismo, la empresa utilizará estas instalaciones para capacitar a sus empleados de toda la región<sup>14</sup>. En tanto, estudios realizados por la Universidad de la República de Montevideo señalan que la capital uruguaya podría atender la totalidad de la demanda eléctrica actual y futura con capacidad eólica.



## 37.466 MW eólicos instalados en 2009

En 2009 se batió nuevamente el récord eólico mundial de potencia instalada de aerogeneradores en un solo año, ya que en doce meses se instalaron 37.466 MW eólicos, cifra que supone prácticamente el doble de lo que se instaló en 2007, ejercicio en que se emplazaron 19.547 MW, según datos del **Global Wind Energy Council (GWEC)**.

Con la nueva potencia añadida en 2009, se logró un total de 157.899 MW eólicos instalados en todo el mundo, lo que supuso una tasa de crecimiento del 31%, el segundo incremento más alto de la última década (en 2001, la tasa de variación fue del 37%). Además, 2009 fue también el sexto año consecutivo de incrementos porcentuales. Si bien todas las regiones mantuvieron una tendencia alcista en lo que se refiere a la instalación de aerogeneradores, en números absolutos hay que destacar la región de Asia que ha pasado de instalar 8.000 MW en 2008 a más de 14.000 MW nuevos en los doce meses de 2009. La

<sup>13</sup> La República, “Más molinos de viento”, (24/6)

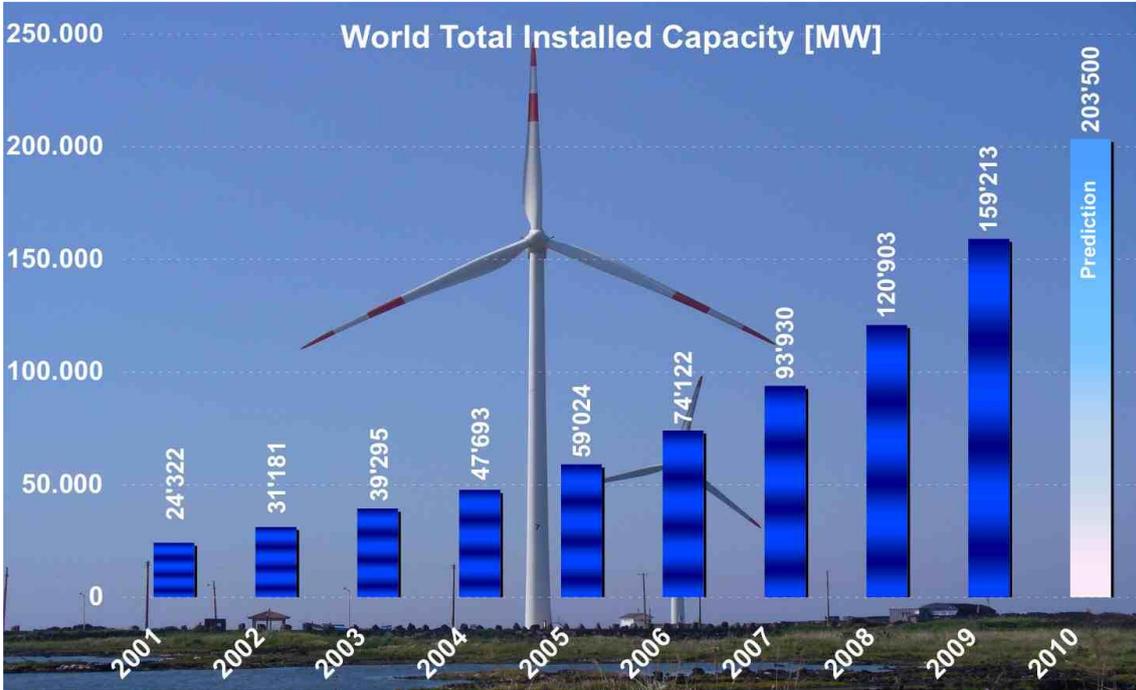
<sup>14</sup> BN Américas, “Impsa invertirá US\$100mn en proyectos eólicos”, (14/6)

segunda y la tercera posición están lógicamente ocupadas por Norteamérica y Europa, dos regiones que superaron ampliamente los 10.000 MW instalados en 2009. Asimismo, lo más llamativo es el fuerte crecimiento, en términos relativos, experimentado por la región de **América Latina y Caribe**, que crecen un 95% respecto al año anterior, doblando prácticamente el potencial total del 2008.

Sin duda, y como ya se esperaba, el principal crecimiento de 2009 lo protagonizó **China**, con 13.000 MW de energía eólica instalados. Por tanto, dos de las grandes potencias mundiales (Estados Unidos y China) están afianzándose en las primeras posiciones del ranking eólico. Otros países que merecen mención son India, quinto en el ranking de potencia eólica, tanto instalada en 2009, como acumulada; **Italia, Francia, Reino Unido, Portugal, Dinamarca y Canadá**, todos ellos con una potencia acumulada de más de 3.000 MW instalados.

Los países del viejo continente instalaron en 2009 unos 10.526 MW, la mayor parte en los países miembros de la Unión Europea: 10.163 MW. España (24%) y Alemania (19%) suman un 43% de la nueva potencia instalada de la UE, y ocupan el cuarto y segundo puesto, respectivamente a nivel mundial. Italia, Francia y Reino Unido superaron los 1.000 MW de nueva potencia mejorando los MW instalados en el año 2008. Un año más, la energía eólica se coloca como la tecnología que más potencia nueva incorporó al sistema eléctrico en la Unión Europea. Además, su fortaleza es aún mayor que en el ejercicio anterior, ya que, si en 2008 instaló 1.500 MW más que el gas natural, en 2009 esta cifra fue superior, sumando aproximadamente 3.500 MW más que la segunda tecnología.

Si se analiza la situación de las diferentes tecnologías en el ámbito europeo, en un periodo más amplio como es la década 2000-2009, se puede comprobar que las centrales de gas natural y la eólica son las dos fuentes de energía que más han incrementado su parque de generación, al sumar 81.067 MW y 65.102 MW respectivamente.



## Bibliografía complementaria:

-“*Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*”, James F. Manwell

-“*Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis*”, Department of Mechanical Engineering, Colorado State University. J.V. Seguro (Febrero, 2000)

-“*Large wind turbines: how high can you go?*”, F.J. Brughuis, Advanced Tower Systems BV, the Netherlands, 2005.

-“*20% Wind Energy by 2030, Increasing Energy's Contribution to U.S. Electricity Supply*” (U.S. Department of Energy, Washington, DC), (2008)

-“*Wind Power Outlook 2009, Wind: A leading source of new electricity generation*” (American Wind Energy Association, 2009)

-“*Global potential for wind-generated electricity*”, Xi Lu, Michael B. McElroy y Juha Kiviluoma, Harvard University, Cambridge (2009)

-“*Wind power: renewable energy for home, farm, and business*”, Paul Gipe (2004).

-“*Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation*”, Gasch y J. Twele, (Solarpraxis AG, Alemania, 2002).

*EnerDossier ofrece servicios de consultoría y asesoramiento sobre sectores estratégicos de la economía global a empresas privadas, organismos públicos y ONGs. Quienes leen semanalmente los informes de EnerDossier conocen los enfoques high-quality sobre temas del sector energético.*

*Si desea mayor información escribir a [hernan.pacheco@enerdossier.com](mailto:hernan.pacheco@enerdossier.com)*

