



**EE**  
Energía Eólica

Energías Renovables





## Energías Renovables

### Energía Eólica

Copyright (C) 2008  
Secretaría de Energía

Título Original de la Obra:  
Energías Renovables 2008 - Energía Eólica

Está permitida la reproducción total o parcial de esta obra previa notificación a la  
Secretaría de Energía a la siguiente dirección de correo electrónico:  
[fover@minplan.gov.ar](mailto:fover@minplan.gov.ar)

Desarrollado por:  
Coordinación de Energías Renovables  
Dirección Nacional de Promoción  
Subsecretaría de Energía Eléctrica

Edición, diagramación y diseño:  
Tecnología de la Información  
Dirección General de Cooperación y Asistencia Financiera  
Secretaría de Energía

## Indice

---

INTRODUCCIÓN .....	4
UN POCO DE HISTORIA .....	5
LA TRANSFORMACION DE LA ENERGIA EOLICA .....	7
LAS MAQUINAS EOLICAS .....	7
Molinos .....	7
Aerogeneradores .....	8
SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA EOLICA .....	9
UTILIZACION DE LA ENERGIA ELECTRICA .....	10
LA ENERGIA EOLICA EN ARGENTINA .....	11
PROTOCOLO DE KYOTO - MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO .....	14
LEGISLACION .....	15
BARRERAS .....	16

## Introducción

# FF

La energía eólica hace referencia a aquellas tecnologías y aplicaciones en que se aprovecha la energía cinética del viento, convirtiéndola a energía eléctrica o mecánica.

Se pueden distinguir dos tipos de aplicaciones: las instalaciones para la producción de electricidad y las instalaciones de bombeo de agua. Entre las instalaciones de producción de electricidad se pueden distinguir instalaciones aisladas, no conectadas a la red eléctrica e instalaciones conectadas, normalmente, denominadas parques eólicos. Las instalaciones no conectadas a la red, normalmente cubren aplicaciones de pequeña potencia, principalmente de electrificación rural. Las aplicaciones conectadas a la red eléctrica, por otra parte, son las que permiten obtener un aprovechamiento energético mayor, son además las que presentan las mejores expectativas de crecimiento de mercado.

## Un poco de historia

A través de grabados pertenecientes a civilizaciones muy antiguas, se ha podido comprobar que el aprovechamiento del viento con fines energéticos se remonta a por lo menos 3.000 años antes de la era cristiana, habiendo sido utilizado en aquellos tiempos principalmente para la navegación. Diferentes pueblos, desde los egipcios pasando por los Fenicios, Romanos y muchos otros utilizaron esta forma de impulsión.

Los datos más antiguos de artefactos que aprovechaban el viento para otro tipo de actividades (p.e. molienda de granos) aparecen en Persia, alrededor de los años 200 antes de Cristo. Se cree que en siglo XIII esas máquinas fueron introducidas en Europa por quienes retornaban de las cruzadas.

Durante el transcurso de la edad Media se amplió la gama de usos empleándose para mover la maquinarias de nacies industrias como la textil, maderera, metalúrgica. Estos primeros molinos eran muy rudimentarios, basando su diseño en la rotación un eje colocado en forma vertical. Los holandeses modificaron esa tecnología y a partir del año 1.350 comenzaron a utilizarse máquinas de eje horizontal y de cuatro palas, muy similares en aspecto a los que acostumbramos ver hoy en día en los típicos paisajes de ese país. A partir de entonces se los empezó a utilizar principalmente para desecar pantanos y lagos y también aserraderos, para la fabricación de papel y para extraer aceites.

Hasta lo equipos que aprovechaban la energía del viento producían únicamente energía mecánica. Eran máquinas lentas, pesadas y baja eficiencia. A mediados del siglo pasado se desarrolló un molino que se impuso rápidamente en mucho países, llamado comúnmente molino americano, y es el que podemos ver en casi todo el interior de nuestro país. Este molino es también un convertidor en energía mecánica, pero con una eficiencia muy superior a la de los anteriores y se destina casi exclusivamente al bombeo del agua.

>> Darregueira



Las primeras máquinas equipadas con generadores eléctricos, hacen su aparición hacia 1900. Durante la primera mitad del siglo, a pesar de que no hubo una activa utilización de la energía eólica, se produjeron gran variedad de diseños cuyos principios fundamentales son válidos hasta el presente.

Desde la década del 30 y hasta comienzos de la del 50 se popularizaron máquinas de pequeño porte (hasta unos 3kW) en el medio rural, donde todavía no existía un sistema de electrificación por redes que cubriera amplias zonas.



También se constituyeron equipos de gran tamaño. Por ejemplo, durante la segunda guerra mundial funcionó en EEUU una turbina de 1.250 Kw. De potencia. Desde 1958 hasta 1966 se constituyeron y operaron en Francia, EEUU y Dinamarca, varias máquinas de potencia superior a 1.000 Kw. Sin embargo, todas estas experiencias terminaron en verdaderos fracasos porque se enfrentaron con problemas tecnológicos que en ese entonces resultaban prácticamente insolubles, hecho que provocó que quienes debían tomar decisiones políticas sobre su utilización no creyeran en cuanto al futuro de esta tecnología como oferta energética válida. Por otra parte, el precio excesivamente bajos de los combustibles hacía muy difícil si no imposible la competencia de cualquier tipo de equipo conversor de energía eólica contra un generador térmico.

La crisis energética de los años 70, que ocasionó un abrupto encarecimiento del petróleo, y por consecuencia de sus derivados, provocó que aquellos países que tenían una importante dependencia de la importación de esos productos para la satisfacción de sus necesidades energéticas, buscaran soluciones alternativas a los grandes desequilibrios económicos que esta situación les creaba. Es así como empezó a pensar seriamente en lo que dio en llamarse ahorro o conservación de energía y al mismo tiempo se comenzó a replantear el tema de la utilización de las energías no convencionales., apareciendo entonces la energía eólica, desde el punto de vista económico, como una fuente más competitiva para la producción de electricidad. Esta situación incentivó la realización de nuevos estudios que llevaron a una importante mejora de las tecnologías de aprovechamiento, logrando equipos conversores de energía eléctrica cada vez más confiables y potentes. Hoy en día es destacable la explotación que efectúan países como Estados Unidos, Dinamarca, Alemania, Holanda, España, India y China entre muchos otros.

A modo de referencia, se indican las potencias instaladas a fines de 2006 por los principales países productores de energía eólica en el mundo: Alemania 20.622 MW; España 11.630 MW; Estados Unidos 11.603 MW; India 6270 MW; China 2599 MW y Dinamarca 3136 MW. El total mundial alcanzaba a 74.153 MW (Fuente WWEA).

## La transformación de la energía eólica

La energía contenida en el viento puede ser transformada, según sea la necesidad, en energía eléctrica, mecánica o térmica. Las posibilidades de uso que ofrece la energía eléctrica son bien conocidas. En cuanto a la mecánica, en el caso que nos ocupa, se utiliza el bombeo de agua o molienda de distintos productos. La energía térmica se consigue a partir de la energía mecánica. Para efectuar esa transformación se utilizan distintos tipos de equipamientos. En términos generales no se requieren grandes velocidades de viento para producir energía, más bien al contrario, cuando el viento es demasiado intenso se hace necesario detener los equipos para evitar deterioro. En la mayoría de los casos, un equipo comienza a generar energía con una velocidad del viento de 4 metros por segundo (m/s), equivalente a unos 15 km/h. Entrega su potencia máxima cuando la velocidad es del orden de los 12 a 15m/s (40 a 55 km/h) y es necesario sacarla de servicio cuando alcanza 25m/s (90km/h).

### | Las maquinas eólicas

Existen dos tipos principales de máquinas que aprovechan la energía contenida en el viento: los molinos, que se utilizan fundamentalmente para bombeo mecánico de agua, y los aerogeneradores de electricidad.

#### *Molinos*

Es muy común en el campo la utilización para extraer agua del subsuelo. El equipo utilizado se denomina molino multipala en razón de estar compuesto por un número elevado (12 a 16) de palas. La razón de este sistema radica en que con muy baja velocidad de viento (apenas una brisa) está en condiciones de trabajar. Al girar acciona mecánicamente una bomba que extrae el agua necesaria.

El diseño de este tipo de molino es de origen norteamericano, introducido en Argentina a mediados del siglo pasado y hoy de fabricación nacional. También es muy utilizado en Australia, Sudáfrica, Holanda y Dinamarca.



## Aerogeneradores

Estos equipos están especialmente diseñados para producir electricidad. En la actualidad se fabrican máquinas comerciales de muy variados tamaños, desde muy bajas potencias (100 a 150 W) hasta 700 y 800 Kw. y ya están superando la etapa experimental modelos de hasta 1.500 Kw. de potencia. A diferencia de los molinos, estos equipos se caracterizan por tener pocas palas porque de esta manera alcanzan a desarrollar una mayor eficiencia de transformación de la energía primaria contenida en el viento. Si bien existen algunos de una sola pala, los de dos o tres son lo más utilizados.

Sintéticamente un aerogenerador está conformado por dos elementos principales: un rotor compuesto por un eje y la o las palas que es accionado por el viento, y un generador que se mueve por arrastre del rotor. Los rotores de los aerogeneradores de potencia mediana en adelante (más de 20 Kw.) no desarrollan gran número de revoluciones, considerándose como normal el orden de 60 a 70 revoluciones por minuto. Teniendo en cuenta que los generadores normalmente trabajan a unas 1.500 r.p.m., para adecuar las distintas velocidades de trabajo de estos dos elementos se intercala una caja multiplicadora.

En las máquinas pequeñas el generador suele ser un alternador conectado directamente al eje de rotación. Se puede diferenciar a los aerogeneradores en dos grandes grupos según sea la posición del eje de rotación: de eje vertical y de eje horizontal. Ambas tecnologías tienen aspectos favorables y desfavorables.

Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de no necesitar orientarse respecto a la dirección de donde sopla el viento, porque cualquiera sea ella, acciona en la misma forma sobre su rotor. Además, los equipos de generación y control se ubican al pie de la estructura simplificando de esta manera el acceso a los mismos y abaratando por consiguiente el mantenimiento. También ofrecen una robustez y resistencia destacable para ser utilizados en zonas de vientos arranchados y de direcciones cambiarias. Como principal elemento desfavorable se puede mencionar que la eficiencia de conversión energética es algo menor que la de los del otro tipo.

En los aerogeneradores de eje horizontal, el plan de rotación debe conservarse perpendicular a la dirección del viento para poder captar la máxima energía. En consecuencia, para adecuarse a las variaciones de dirección, debe instalarse algún mecanismo que oriente la posición del rotor. En equipos pequeños y medianos (hasta unos 10 ó 15 Kw.) el sistema de orientación es sencillo y mecánico, representado por un timón de cola que reacciona en forma automática.

En equipos de mayor tamaño y muy especialmente en los grandes (de más de 100 Kw.), la orientación del equipo se controla electrónicamente a través de un sistema computarizado. El generador, así como la caja de multiplicación, están ubicados en el cuerpo del equipo, que se encuentra en la parte superior de la torre. Este trae aparejado por un lado la necesidad de un importante cableado para conducir la corriente generada y las señales enviadas al sistema de control y por otro el inconveniente que cuando se produce alguna avería o se efectúa un control de rutina, es necesario subir a la torre.

Como se ve, las diferencias a favor o en contra de cualquiera de las dos tecnologías no alcanzan a ser de suficiente envergadura como para descalificar a ninguna de ellas. De todos modos, es importante acotar que más del 80% de los fabricantes se inclinan por el sistema de eje horizontal.



## Sobre el aprovechamiento de la energía eólica

El uso de toda fuente energética presenta tanto ventajas como desventajas, por lo que es importante, antes de emprender una utilización, efectuar un balance entre los pro y los contra de una u otra posible a utilizar. La energía eólica, por supuesto, no puede escapar a esta premisa. Como principales ventajas se pueden mencionar

- \* es inagotable
- \* no es contaminante
- \* es de libre acceso (gratuita)
- \* se puede aprovechar en la medida de las necesidades del momento

En cambio las mayores desventajas indican:

- \* se encuentra dispersa,
- \* es intermitente y aleatoria (no continua)

La condición que se puede considerar normal en la mayor parte del planeta es que las características del viento no resulten suficientemente adecuadas para su utilización como fuente energética importante, salvo para aprovechamientos de pequeña potencia. No obstante, existen regiones donde las condiciones de ocurrencia del recurso energético son tales que resultan sumamente ventajosas para su aprovechamiento.

Desde el punto de vista económico, aún cuando la inversión inicial necesaria para la instalación de los sistemas de captación eólica es mayor que la requerida para un sistema diesel, los equipamientos eólicos tienen bajos costos de mantenimiento, “combustible” gratis y una vida útil prolongada (20 años o más), lo que les permite competir cada vez más eficazmente con otras fuentes energéticas.

## Utilización de la energía eléctrica

La energía eléctrica generada a partir de este tipo de equipamiento se destina, por supuesto, a satisfacer necesidades de trabajo y confort requeridas por el hombre. De las distintas posibilidades de disponibilidad de esta energía generada, mencionaremos tres casos que, al menos en nuestro país, conforman situaciones generalizadas y bien caracterizadas.

a Vastas zonas del país tienen población y establecimientos rurales y de servicios dispersos tales como estancias, escuelas, puestos de gendarmería, policías dispensarios médicos, etc. Normalmente esta gente y establecimientos no tienen acceso a una provisión energética segura y confiable. Mediante máquinas de pequeña potencia (generalmente menos de 10 Kw) se puede proveer, si la calidad del recurso eólico es adecuada, de energía para mejorar las condiciones de vida posibilitando el acceso a iluminación, comunicación social y de seguridad (televisión, radio, etc.) y eventualmente la utilización de algunas pequeñas herramientas eléctricas.

b Otro aspecto se centra en la existencia de un importante número de pequeñas localidades donde ya se cuenta con un servicio eléctrico de origen térmico, en general accionado a gas oil, el que en muchos casos por razones de costo y protección del equipo se utiliza solamente unas pocas horas al día, impidiendo de esta manera el eventual establecimiento de pequeñas industrias derivadas de la actividad local y retrasando también las posibilidades de mejor condición de vida de la población involucrada. Si las circunstancias lo permiten, acoplado a máquinas eólicas de una capacidad acorde con la de los equipos existentes, se puede mejorar la calidad del servicio aumentando su confiabilidad y prestación, con el agregado de poder lograr una disminución en el consumo de combustible.

c Por último, en regiones con recurso eólico adecuado, si se cuenta con una red de transmisión de alta tensión, es posible establecer verdaderas “centrales” eléctrica conformada por un número variable pero en general importante de turbinas de elevada potencia (250 W en adelante). La energía generada en estas instalaciones, denominadas granjas o parques eólicos, ingresa directamente a la red.

## La energía eólica en Argentina

Argentina es un país con larga tradición eólica. Se estima que la llanura pampeana cuenta aún hoy con la mayor concentración de molinos de campo de todo el mundo, con más de 400.000 ejemplares en existencia. Si bien las primeras máquinas de viento equipadas para generar electricidad aparecieron a comienzos del siglo pasado, la novedad de su tecnología y sus mayores costos relativos resultaron barreras insalvables para su difusión en una época dominada por los combustibles fósiles. Fue el principio del fin de la era del petróleo barato en 1973 lo que marcó el renacer del viento como fuente energética viable. Actualmente el alto grado de desarrollo alcanzado por los aerogeneradores modernos permite al viento aportar un porcentaje relevante de la generación eléctrica en muchos países. El primer parque eólico comercial argentino se instaló en Comodoro Rivadavia, provincia de Chubut, en 1994 (500 kW).

Nuestro país, pionero en Latinoamérica, dispone actualmente de 13 parques eólicos localizados en 6 provincias que suman una potencia instalada de 29,7 MW, registrando un interesante factor de planta medio cercano al 30%, aun cuando los parques funcionando en la Patagonia alcanzan regularmente factores de utilización muy superiores, con valores tan altos como 40% o más. Varios de estos emprendimientos han crecido al amparo de los beneficios fiscales concedidos por el “Régimen Nacional de la Energía Eólica y Solar” introducido por la Ley 25.019/98. El más representativo es seguramente el parque eólico “Antonio Morán” de la Sociedad Cooperativa Popular de Comodoro Rivadavia, que con 24 aerogeneradores en servicio, es uno de los más grandes de Sudamérica.

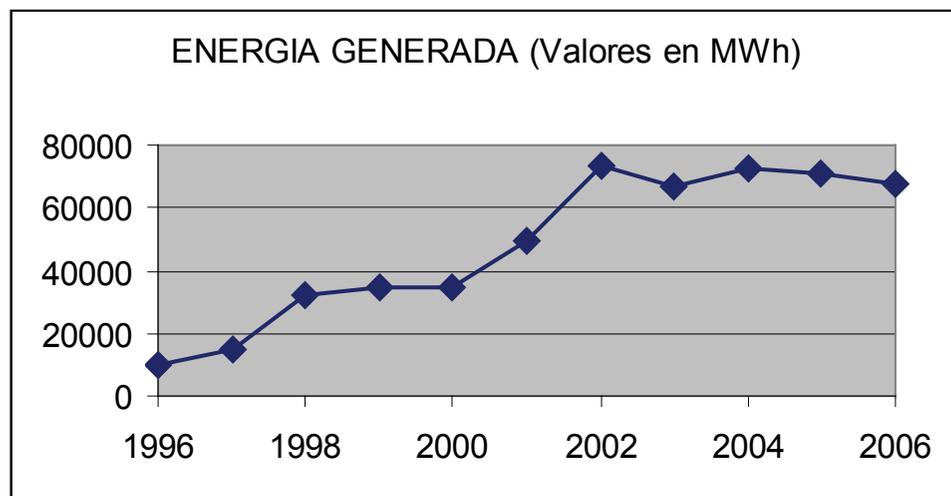
Las perspectivas del país en materia de energía eólica son francamente alentadoras. Se estima que el potencial eólico patagónico al sur del paralelo 42 encierra una energía decenas de veces mayor al contenido en toda la producción anual argentina de petróleo. Mas aún, no solo el extremo sur argentino posee condiciones favorables para la instalación de granjas eólicas, existen asimismo numerosas regiones aptas en las provincias de Río Negro y Neuquén, en varias zonas serranas y costeras de la provincia de Buenos Aires, y en muchos otros sitios puntuales de todo el país.

En este sentido, el Plan Nacional de Energía Eólica encomendado por el Ministerio de Planificación Federal al Centro Regional de Energía Eólica del Chubut (CREE), sienta las bases para el primer desarrollo nacional de

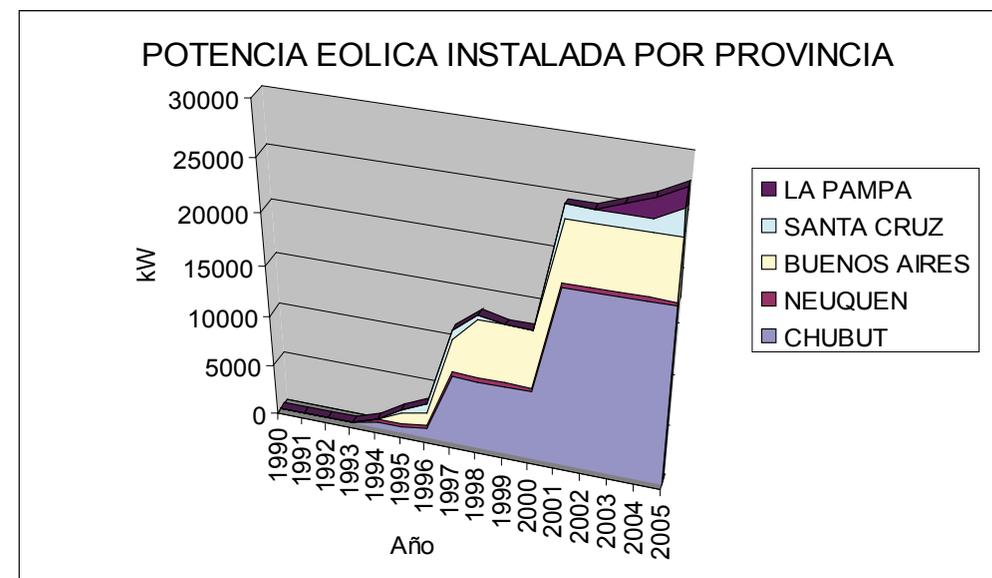


envergadura en esta materia. El plan no sólo comprende la confección del mapa eólico nacional (ideado para identificar los sitios de emplazamiento óptimos) sino que también prevé la instalación de parques con una potencia sumada del orden de los 300 MW en un lapso cercano a tres años. La primera etapa del Plan es la concreción del proyecto “Vientos de la Patagonia I”, que supone la construcción de un parque de 50 a 60 MW en cercanías de la ciudad de Comodoro Rivadavia, provincia de Chubut. En sucesivas etapas se contempla instalar parques similares en las provincias de Santa Cruz, Buenos Aires, Río Negro, Neuquén, La Rioja y San Juan.

Naturalmente la concreción de esta ambiciosa iniciativa plantea numerosos desafíos tecnológicos, logísticos e industriales, pero indudablemente el país dispone de todos los recursos técnicos y humanos necesarios para afrontarlos. A largo plazo, la suma de proyectos públicos y privados identificados ronda aproximadamente los 2000 MW.



Energía Generada  
(Valores en MWh/año)



Crecimiento de la Capacidad Instalada

## Protocolo de Kyoto - Mecanismos de Desarrollo Limpio

El Protocolo de Kyoto establece para los países Anexo I, reducir el total de sus emisiones de GEI a un nivel inferior en no menos de 5% al de 1990 en el período de compromiso, comprendido entre el año 2008 y el 2012. Para cumplir con el mismo se establecieron además de las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero en cada país, y del comercio de emisiones, otros mecanismos como la Aplicación Conjunta (AC) y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Tras la ratificación por parte de Rusia en septiembre de 2004 el Protocolo de Kyoto se convierte en Ley internacional.

Este mecanismo ofrece a los gobiernos y a las empresas privadas de los países industrializados la posibilidad de transferir tecnologías limpias a países en desarrollo, mediante inversiones en proyectos de reducción de emisiones o sumideros, recibiendo de esta forma certificados de emisión que servirán como suplemento a sus reducciones internas.

Un proyecto en el marco del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL o CDM en inglés) es un proyecto de reducción de emisiones o secuestro de carbono que se lleva a cabo en un país en desarrollo, como ser la Argentina. Los proyectos MDL generan CERs o Bonos de Carbono, que pueden ser comercializados en el mercado de carbono. 1 CER equivale a 1 Tn de CO<sub>2</sub> reducida.

Los beneficios de los MDL, pueden hacer mas atractivo un proyecto desde el punto de vista económico-financiero, a tal punto que solo puede ser viable si cuenta con ellos.

## Legislación

La Ley 26190 establece el “Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica “. La ley declara de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables con destino a la prestación de servicio público como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad.

Establece como objetivo del presente régimen, lograr la contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el OCHO POR CIENTO (8%) del consumo de energía eléctrica nacional en el plazo de DIEZ (10) años a partir de la puesta en vigencia del presente régimen.

Los beneficios que establece la Ley son un régimen de inversión por un periodo de 10 años y una remuneración adicional respecto del precio de mercado de la energía según las distintas fuentes por un periodo de 15 años



>> Río Mayo

## Barreras

---

Dentro de distintos estudios encarados por la Secretaría de Energía se han detectado distintos tipos de barreras a sortear para la implementación de las fuentes de energía renovable, entre ellas caben citar a las de tipo técnico, económico-financiero, legislativas-regulatorias, institucionales y sociales.



## SECRETARIA DE ENERGIA

Av. Paseo Colón 171 Capital Federal - CP (C1063ACB) República  
Argentina - Conmutador: 54-11-4349-5000  
[energia@minplan.gov.ar](mailto:energia@minplan.gov.ar) - <http://www.energia.gov.ar>