

Manuales sobre  
energía renovable

# EÓLICA



HIDRÁULICA A PEQUEÑA ESCALA • SOLAR FOTOVOLTAICA • EÓLICA • SOLAR TÉRMICA • BIOMASA



Find your solutions manual here!

# WWW.ELSOLUCIONARIO.ORG

Libros Universitarios en formatos electrónicos con Solucionarios y más.

---

Si quiere obtener más textos como este, en formatos digitales, lo invitamos a visitarnos en: <http://www.elsolucionario.org>. Allí encontrará todos los textos para sobresalir en sus estudios.

¿Sabías que un **SOLUCIONARIO** contiene TODOS los problemas del libro resueltos y explicados paso a paso, de forma clara? Visítanos para **descargar gratis** estos archivos en versiones PDF, Djavu y ePub.

Análisis Numérico   Transferencia de Calor   Máquinas Eléctricas   Química  
Matemáticas Avanzadas   Física Moderna   Mecánica de Fluidos   Métodos Numéricos  
Economía   Investigación Operativa   Math   Electromagnetismo   Geometría  
Algebra Lineal   **Estadística**   Physics   Computer Science   **Cálculo**   Biology  
Chemistry   Termodinámica   Mecánica Vectorial   Circuitos   Civil Engineering   **Física**  
Comunicaciones   **Álgebra**   Análisis Numérico   Electrónica   Mechanical Engineering  
Business   Control   Electrical Engineering   Ecuaciones Diferenciales  
Dispositivos Electrónicos   Estadística y Probabilidad   Física Cuantica   Microeconomía

## LIBROS Y SOLUCIONARIOS

El complemento ideal para estar preparados para los exámenes!



Subscribe RSS



Find on Facebook



Follow my Tweets

---

# WWW.ELSOLUCIONARIO.ORG

Encuentra en nuestra página los Textos Universitarios que necesitas para aprobar tus estudios!

621.47  
M2946m

Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users  
Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. :  
Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.  
48 p. il. ; 28x22 cm.

ISBN: 9968-904-00-7

1. Energía Renovable. 2. Energía Eólica  
3. Recursos Energéticos - América Central. 4. Conservación de  
la Energía. 5. Desarrollo Sostenible. I. Título.

Hecho el depósito de Ley. Reservados todos los derechos.

[www.elsolucionario.org](http://www.elsolucionario.org)

©Copyright 2002, BUN-CA, Setiembre del 2002

1ª edición  
San José, Costa Rica

Este Manual puede ser utilizado para propósitos no-comerciales con el debido reconocimiento al autor.

Esta publicación ha sido posible gracias a la asistencia financiera del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) e implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en el marco del Programa Operacional #6 del Área Temática de Cambio Climático del GEF. Las opiniones expresadas en este documento son del autor y no necesariamente reflejan el parecer del Fondo para el Medio Ambiente Mundial o del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

# EÓLICA

## Manual sobre energía renovable

Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central



## Indice

### Tabla de simbología

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Historia y estado actual de la energía eólica</b>	<b>4</b>
2.1 Breve retrospectiva sobre la energía eólica	4
2.2 Estado actual de la energía eólica	5
<b>3. El recurso eólico</b>	<b>6</b>
3.1 Origen del viento	6
3.2 Estimación del recurso	6
<b>4. Funcionamiento y componentes</b>	<b>8</b>
4.1 Transformación de la energía	8
4.2 Componentes	8
<b>5. Aplicaciones</b>	<b>10</b>
5.1 Aplicaciones mecánicas	10
5.2 Sistemas eléctricos aislados	11
5.3 Sistemas eléctricos conectados a la red	12
<b>6. Costos</b>	<b>14</b>
6.1 Proyectos aislados	14
6.2 Proyectos conectados a la red	14
<b>7. Aspectos ambientales</b>	<b>16</b>
<b>8. Ventajas y desventajas</b>	<b>18</b>
8.1 Ventajas	18
8.2 Desventajas	18
<b>9. Experiencias en América Central</b>	<b>19</b>
9.1 Proyectos desarrollados por país	19
9.2 Principales barreras al desarrollo de la energía eólica	21
<b>Anexos</b>	<b>25</b>
Anexo 1. Publicaciones y sitios web recomendados	26
Anexo 2. Consultores y proveedores de equipo en América Central	30
Anexo 3. Conceptos básicos de energía	33
Anexo 4. Algunos aspectos técnicos de la energía eólica	39





## Tabla de Simbología

A	Amperio	kWh	Kilovatio hora
CA	Corriente alterna	kWh/m <sup>2</sup>	Kilovatio hora por metro cuadrado
Ah	Amperio-hora	LPG	Gas de petróleo líquido
B/N	Blanco y negro	lts	Litros
Btu	Unidad térmica británica ( 1 Btu = 1055.06 J)	M	Mega (10 <sup>6</sup> )
BUN-CA	Biomass Users Network Centroamérica	m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
CO	Monóxido de carbono	m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono	mm	Milímetros
CD	Corriente directa	m/s	Metros por segundo
EPDM	Ethylene Propoylene Diene Monomer	MW	Mega vatios
G	Giga (10 <sup>9</sup> )	°C	Grados Centígrados
GEF/FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial	ONG	Organización No Gubernamental
Gls	Galones	Psig	Libras de presión por pulgada cuadrada
GTZ	Cooperación alemana para el desarrollo	PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Gw	Giga vatio (10 <sup>9</sup> vatios)	PV	Fotovoltaico (por sus siglas en inglés)
GWh	Giga vatios hora	PVC	Cloruro de polivinilo
HC <sub>s</sub>	Hidrocarburos	T	Tera (10 <sup>12</sup> )
HR	Humedad relativa	TcE	Toneladas de carbón equivalente
Hz	Hertz	TM	Tonelada métrica
J	Joule (0,239 caloría ó 9,48 x 10 <sup>-4</sup> , unidades térmicas británicas, Btu)	US\$	Dólares USA
J/s	Joules por segundo	UV	Ultravioleta
K	Kilo (10 <sup>3</sup> )	V	Voltios (el monto de “presión”de electricidad)
Km/s	Kilómetros por segundo	W	Vatios (la medida de energía eléctrica, Voltios x amperios = vatios)
kW	(1000 vatios) -unidad de potencia-	Wp	Vatios pico
kW/m <sup>2</sup>	Kilovatios por metro cuadrado	W/m <sup>2</sup>	Vatios por metro cuadrado

# 1. Introducción



Para la región de América Central, las tecnologías de energía renovable a pequeña escala presentan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades rurales remotas y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. La región cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares, eólicos y de biomasa, principalmente.

Adicionalmente, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente, causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales, que utilizan combustibles fósiles, como el carbón y productos derivados del petróleo. Estos gases contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global de nuestro planeta.

Sin embargo, existen barreras que dificultan un mayor desarrollo de este tipo de energía: la falta de conocimiento de las tecnologías y las capacidades institucionales y técnica aún incipientes.

Con el fin de remover la barrera de información existente, se ha elaborado una serie de manuales técnicos con los aspectos básicos de cada una de las tecnologías, como:

- Energía de biomasa.
- Energía eólica.
- Energía solar fotovoltaica.
- Energía solar térmica.
- Energía hidráulica a pequeña escala.

Estas publicaciones han sido elaboradas por la oficina, para Centroamérica, de Biomass Users Network (BUN-CA), en el contexto del proyecto "Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central" (FOCER) y con el apoyo de consultores específicos en cada tema. FOCER es un proyecto ejecutado por BUN-CA, conjuntamente con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el patrocinio del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM o GEF), dentro del área focal de Cambio Climático (Programa Operacional #6).

FOCER tiene como objetivo remover barreras que enfrenta la energía renovable y fortalecer la capacidad para el desarrollo de proyectos de este tipo a pequeña escala, en América Central, con el fin de reducir las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero. Este proyecto se ejecuta por medio del apoyo técnico y financiero a desarrolladores de proyectos, la organización de seminarios y talleres de capacitación, y la asistencia a gobiernos en la implementación de políticas y regulaciones apropiadas para la energía renovable.

El presente manual, en torno a la energía eólica, tiene el objetivo de informar al lector sobre esta tecnología en el ámbito centroamericano, así como para darle fuentes adicionales de información.



## 2. Historia y Estado Actual de la Energía Eólica



El aprovechamiento del viento para la generación eléctrica a gran escala es la tecnología de energía renovable que más ha crecido en las últimas décadas, con porcentajes de uso del 40% por año desde 1993. Además de este uso, el viento se puede aprovechar para aplicaciones mecánicas y electrificación de sitios aislados. En general, se pueden distinguir tres diferentes tipos de aplicaciones, las cuales se discuten en detalle en los siguientes capítulos:

- Aplicaciones mecánicas, por ejemplo bombeo de agua y molino de granos.
- Generación eléctrica en sistemas aislados, para usos productivos y viviendas rurales en áreas remotas.
- Generación eléctrica a gran escala conectada al sistema nacional interconectado.

### 2.1 Breve retrospectiva sobre la energía eólica

La fuerza del viento se ha aprovechado durante muchos siglos. Su primera y más sencilla aplicación, desde hace más de 500 años, hecha por los egipcios, fue el uso de las velas en la navegación.

Los primeros mecanismos impulsados por el viento fueron molinos de eje vertical, usados para bombeo de agua en China. Los de eje horizontal surgieron en el área de la antigua Persia; por ejemplo, el molino tipo mediterráneo, con su característico rotor a vela, el cual se utilizó para moler granos y bombear agua en todos los territorios de influencia islámica.

[www.elsolucionario.org](http://www.elsolucionario.org)

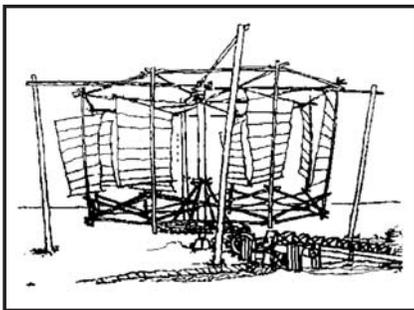


Figura 1. Molino de eje vertical tipo chino.

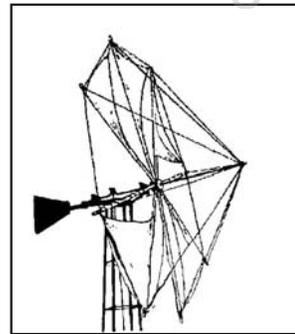


Figura 2. Molino tipo mediterráneo

Durante los primeros años del siglo veinte, pequeños molinos eólicos servían para el bombeo de agua y generación eléctrica en Europa, Norteamérica y otros lugares. Posteriormente, se empezaron a construir sistemas más grandes. Sin embargo, debido a una mayor oferta de combustibles fósiles para generación de electricidad (como carbón mineral y petróleo) y aplicaciones industriales, se frenó fuertemente su desarrollo en el siglo pasado.

En los años setenta, el aumento de los precios de los combustibles fósiles estimuló la generación de la energía eólica como una fuente alternativa económicamente viable. En todo el mundo surgieron programas de investigación y desarrollo que resultaron en sistemas eólicos modernos con costos cada vez más bajos.



# Historia y Estado Actual de la Energía Eólica

## 2.2 Estado actual de la energía eólica

Hoy la tecnología de los aerogeneradores de mediana y pequeña potencia (500 kW) está madura, por lo que se pueden adquirir en el mercado mundial más de veinte diferentes fabricantes.

En el año 2001, la capacidad eólica instalada en el ámbito mundial alcanzó un récord de 23.300 MW. La tecnología eólica se encuentra en posición de hacer una importante contribución al suministro mundial de energía para los próximos años. Actualmente, es una de las fuentes alternativas más económicas y aunque los cálculos varían mucho, sólo en Estados Unidos, se considera que se tiene el potencial de proporcionar entre 10% y 20% del suministro doméstico.

Las turbinas proporcionan una buena cantidad de energía comercial en California, Europa e India; mientras que en otros países se utilizan en muchas otras aplicaciones. Hoy día, Dinamarca es el principal poseedor de parques eólicos, suministrando el 13 % de la demanda eléctrica de ese país.

En América Latina y el Caribe experiencias como las de Curazao con un parque eólico de 9 MW, que suple el 7% de la demanda nacional, Argentina con varios parques que generan 14 megavatios o Brasil con 20 MW, han logrado posicionar el desarrollo de la tecnología eólica en la región. Países como República Dominicana y Barbados han realizado estudios de viabilidad que determinen su potencial eólico como una alternativa para mejorar el suministro nacional de energía.

En América Central existen lugares con gran potencial para la generación eólica (ver Capítulo 9). En el caso de Costa Rica la generación por medio de parques eólicos es de 71 MW, abasteciendo el 2% de la demanda nacional. En los otros países de la región ya se han levantado mapas eólicos que identifican posibles lugares con potencial de generación y que permitirán a los desarrolladores de proyectos incursionar en el negocio de la venta de energía eléctrica en el mercado de ocasión (mercado *spot*).



Figura 3. Parque eólico en Tilarán, Costa Rica.  
(Foto: cortesía Sr. Misael Mora)

## 3. El Recurso Eólico



### 3.1 Origen del viento

La energía eólica tiene su origen en la solar, más específicamente en el calentamiento diferencial de masas de aire por el Sol, ya sea por diferencias de latitud (vientos globales) o el terreno (mar-tierra o vientos locales). Las diferencias de radiación entre distintos puntos de la Tierra generan diversas áreas térmicas y los desequilibrios de temperatura provocan cambios de densidad en las masas de aire que se traducen en variaciones de presión.

De los sistemas de vientos globales, uno de los más importantes es el de los alisios, el cual tiene su origen en el mayor calentamiento de la región ecuatorial. En general, este sistema es activo entre las latitudes de 30 grados norte y sur, por lo que es de alta relevancia para la región de América Central.

De la energía solar que llega a la Tierra por radiación (unos 1.018 kWh por año), sólo alrededor del 0,25% se convierte en corrientes de aire. Esta cantidad es todavía 25 veces mayor al consumo energético total mundial.

La dirección del viento está determinada por efectos topográficos y por la rotación de la Tierra. Es de gran importancia el conocimiento de las direcciones dominantes para instalar los equipos que extraerán la energía proveniente de este recurso. Los aerogeneradores se deben colocar en lugares donde exista la menor cantidad de obstáculos posibles en estas direcciones.

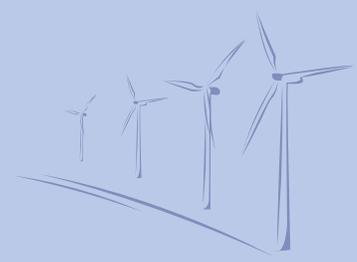
### 3.2 Estimación del recurso

La cantidad de energía (mecánica o eléctrica) que pueda generar una turbina eólica depende mucho de las características del viento vigentes en el sitio de instalación. De hecho, la producción puede variar en un factor de dos a tres entre un sitio regular y uno excelente, de manera que la rentabilidad de un proyecto depende directamente del recurso eólico local. Por esta razón, es necesario un estudio técnico detallado de las características del viento en un sitio específico antes de avanzar en un proyecto de cualquier magnitud.

El análisis requerido depende directamente de la aplicación y la escala prevista; naturalmente, un proyecto a gran escala conectado a la red requiere de un estudio más profundo que un pequeño sistema aislado. El método más exacto (aunque más costoso) para conocer el potencial de producción de energía del viento, es la instalación de uno o más anemómetros, los cuales, periódicamente, generan datos de la velocidad y la dirección del viento en forma electrónica. Estos datos se analizan detalladamente en relación con las características del terreno y las mediciones de estaciones meteorológicas cercanas, con el fin de estimar la producción potencial de energía a largo plazo y durante diferentes épocas del año. Información meteorológica de sitios aledaños puede apoyar el análisis del potencial eólico; sin embargo, este tipo de información generalmente tiende a subestimar el recurso eólico.

Hay tres componentes del viento que determinan la potencia disponible de un sistema de conversión de energía eólica<sup>1</sup>:

<sup>1</sup> En el Anexo 4 se discuten estos factores con más detalle.



1. Velocidad del viento: es un parámetro crítico porque la potencia varía según el cubo de la velocidad del viento, o sea, una o dos veces más alta significa ocho veces más de potencia. Además, la velocidad varía directamente con la altitud sobre el suelo, por la fricción causada por montañas, árboles, edificios y otros objetos. Las turbinas eólicas requieren una velocidad de viento mínima para empezar a generar energía: para pequeñas turbinas, este es, aproximadamente, de 3,5 metros por segundo (m/s); para turbinas grandes, 6 m/s, como mínimo.

2. Características del viento (turbulencia): mientras que los modelos de viento globales ponen el aire en movimiento y determinan, a grandes rasgos, el recurso del viento en una región, rasgos topográficos locales, que incluyen formaciones geográficas, flora y estructuras artificiales, pueden mostrar la diferencia entre un recurso eólico utilizable y uno que no lo es.

3. Densidad del aire: temperaturas bajas producen una densidad del aire más alta. Mayor densidad significa más fluidez de las moléculas en un volumen de aire dado y más fluidez de las moléculas encima de una pala de la turbina produce un rendimiento más alto de la potencia, para una velocidad del viento dada.



Figura 4. Torres eólicas, Tilarán- Costa Rica.  
(Foto: cortesía Sr. Misael Mora)



## 4. Funcionamiento y componentes

### 4.1 Transformación de la energía

El dispositivo que se utiliza para aprovechar la energía contenida en el viento y transformarla en eléctrica es la turbina eólica. Una turbina obtiene su potencia de entrada convirtiendo la energía cinética del viento en un par (fuerza de giro), el cual actúa sobre las palas o hélices de su rotor. Para la producción de electricidad la energía rotacional es convertida en eléctrica por el generador que posee una turbina; en este caso, llamado aerogenerador.

Las turbinas que se encuentran en el mercado son muy confiables, con factores de disponibilidad de más de un 98%, lo cual significa que pueden operar durante más del 98% del año; generalmente, apagándose sólo durante el período de mantenimiento. Además las turbinas sólo requieren mantenimiento cada seis meses.

Aparte de las características del viento, la cantidad de energía que pueda ser transferida depende de la eficiencia del sistema y del diámetro del rotor. Las mejores aeroturbinas que se construyen actualmente tienen un índice global de eficiencia (tomando en cuenta la del rotor y el generador) de casi 35%.

### 4.2 Componentes

Existen varios tipos de turbinas y cada una puede tener diferentes componentes, dependiendo de la aplicación; sin embargo, se pueden reconocer algunos comunes, como se explica a continuación y se ilustra en la Figura 3.

#### a. Rotor

El rotor es el elemento principal de una máquina eólica, siendo su función la transformación de la energía cinética del viento en mecánica utilizable. Existe gran variedad de rotores y su clasificación más usual se realiza en función de la disposición del eje: horizontal o vertical, de los cuales el primero es el más común.

Los rotores de eje horizontal tienen aspas que giran en un plano vertical como las hélices de un avión. Para sistemas de generación eléctrica, el rotor consiste generalmente en dos o tres aspas y está hecho de fibra de vidrio con poliéster o epoxy; además el cubo que conecta las aspas al eje. Los rotores de sistemas para aplicaciones mecánicas suelen tener más aspas (10 a 20), y giran a velocidades más bajas.

El rotor de una turbina eólica puede variar en tamaño, lo cual afecta la cantidad de energía correspondiente que se puede generar. Por ejemplo, una turbina de 10 kW típicamente tiene un diámetro de rotor de siete metros, mientras que una turbina de 750 kW tiene un diámetro de 24 metros.

#### b. Tren de potencia o conversión mecánica

El tren de potencia está constituido por el eje de velocidad baja, la caja de cambios de velocidad, el eje de velocidad alta y las balineras o cojinetes que soportan los ejes. Se aplica en sistemas grandes eléctricos para adaptar la velocidad del eje a la del generador. Algunas turbinas no contienen la caja de cambios.

# Funcionamiento y componentes



## c. Sistema eléctrico

En sistemas de generación eléctrica, éste se refiere al generador, el cual está acoplado al eje para transformar la energía mecánica en eléctrica. Además, consiste en las interfaces para la conexión a las aplicaciones o a la red eléctrica.

## d. Chasis

Contiene los elementos claves de la turbina, como la caja de cambios y el generador. En turbinas grandes, el chasis puede tener el tamaño de un microbús y el personal de mantenimiento entra a él desde la torre. Usualmente, es una pieza metálica forjada sobre la cual se montan las diferentes partes del tren de conversión modularmente, al mismo tiempo que lo protege del ambiente y sirve de aislante al ruido mecánico de la caja de cambios y del generador.

## e. Sistema de orientación

Las máquinas de eje horizontal tienen este componente, el cual detecta la orientación del viento y coloca el rotor en su misma dirección para aprovecharlo al máximo. El sistema de orientación está compuesto por el cojinete, los motores eléctricos, los sensores y un freno mecánico.

## f. Torre

Las máquinas eólicas deben estar situadas sobre una estructura de soporte capaz de aguantar el empuje del viento que transmiten el sistema de captación y las eventuales vibraciones. Su altura debe ser suficiente para evitar que las turbulencias, debidas al suelo, afecten a la máquina y para superar los obstáculos cercanos. Por ejemplo, una turbina de 750 kW tiene una altura típica de 63 metros. El uso de torres más altas significa un costo mayor al inicio, pero éste disminuye el período de la recuperación de la inversión, debido a que la velocidad del viento aumenta con la altura y logra generar más energía.

## g. Sistema de seguridad

Este pone la turbina en una situación estable y segura, en caso de que ocurran anomalías tales como pérdida de carga, velocidad de rotación o temperatura del generador a caja de cambios demasiado altas.

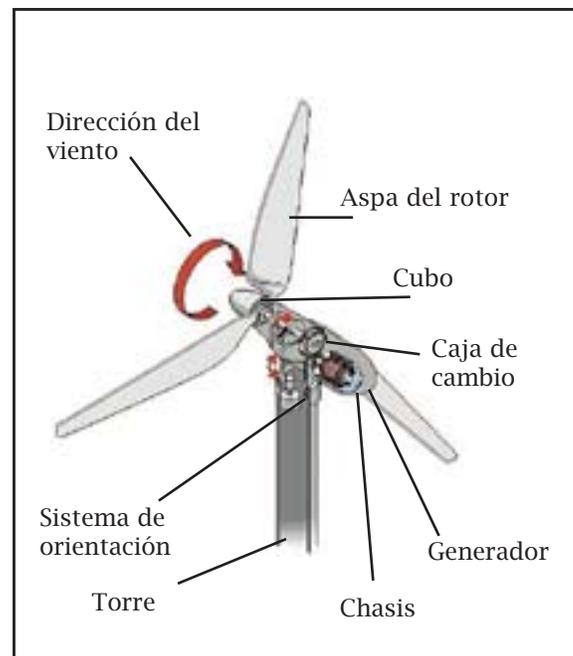


Figura 5. Componentes de una turbina eólica

## 5. Aplicaciones



### 5.1 Aplicaciones mecánicas

#### 5.1.1 Bombeo de agua

La aplicación mecánica más frecuente de la energía eólica es el bombeo de agua, para lo cual son especialmente adecuadas las turbinas de baja potencia. Esta aplicación demanda un alto par de arranque y de una baja velocidad específica de viento, por lo que se conoce como un “sistema eólico lento”.

Se aprovecha el viento para el bombeo de agua en áreas aisladas de la red eléctrica. Los sistemas mecánicos operan prácticamente con la misma tecnología, desarrollada en el siglo IX, mientras que los nuevos están más adaptados a la variabilidad del viento. También se usan sistemas eólicos eléctricos para bombeo de agua, los que generalmente no requieren baterías.

Al comparar sistemas mecánicos y eléctricos para bombeo de agua, se puede decir que los primeros son más baratos y que pueden operar a velocidades del viento más bajas. Adicionalmente, su mantenimiento es más simple y barato. Sin embargo, los sistemas eléctricos tienen la ventaja de que la turbina no tiene que instalarse en el sitio del pozo, sino en un punto más ventoso. (Ver Figura 6).

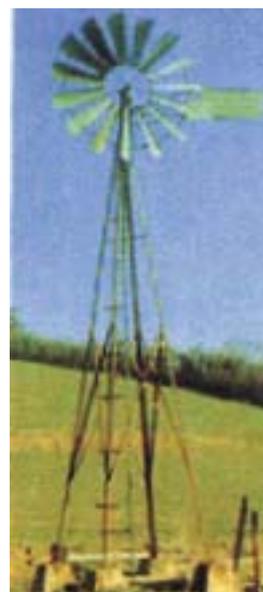


Figura 6. Molino típico para bombeo de agua.

#### Bomba de mecate

En Nicaragua se ha desarrollado un sistema eólico para bombeo de agua de bajo costo que empezó a funcionar en 1989, a partir de un proyecto que promovió la energía eólica en el país. En los modelos clásicos para bombeo el costo de fabricación es elevado lo que incide en la difusión que pueda tener, con el fin de disminuir los costos económicos se diseñó un sistema sencillo que usaba materiales locales y de tipo estándar. Este sistema está basado en la bomba de rotación de mecate, que se aplica en forma manual y con costos anuales de operación y mantenimiento bajos (de US\$ 30 a US\$ 70).

Este sistema eólico para bombeo tiene un costo inicial de entre US\$ 400 y US\$ 600; se fabrica localmente en un taller privado en la ciudad de Managua, cuya producción se destina en su mayoría a finqueros de las zonas productivas del país. (ver referencia en lista de proveedores)



## Aplicaciones

### 5.1.2 Aplicaciones térmicas

La energía mecánica de una máquina eólica se puede transformar directamente en térmica por dos mecanismos: calentamiento de agua por rozamiento mecánico o compresión del fluido refrigerante de una bomba de calor. En ambos casos, el calor producido se puede enviar, a través de un cambiador de calor, a un sistema de calefacción convencional. Sin embargo, el desarrollo de este tipo de aplicación no ha resultado económicamente factible. Es más costo-efectivo generar electricidad de alta calidad, pues se puede aplicar en diferentes casos, que construir un sistema eólico sólo para una aplicación térmica.

### 5.2 Sistemas eléctricos aislados

Las pequeñas turbinas eólicas, las cuales tienen un rango de 0,3 a 100 kW, muchas veces son la fuente de electricidad más económica para sitios aislados, cuando el recurso eólico es apropiado y su operación es simple y barata.

La aplicación más común de sistemas aislados es la electrificación de viviendas rurales, para la cual existen diferentes configuraciones.

#### 5.2.1 Sistemas individuales

Este tipo de sistemas se refiere a uno de generación eléctrica para una vivienda. Generalmente, cuenta con un pequeño aerogenerador, una o más baterías para almacenar la energía generada y un regulador que controla la carga y descarga de las baterías. Dependiendo de la aplicación, puede incluir un inversor para transformar la electricidad de corriente directa en alterna a 110 voltios.



Figura 7. Turbina pequeña aislada

Una configuración típica de estos sistemas se muestra en la siguiente figura:

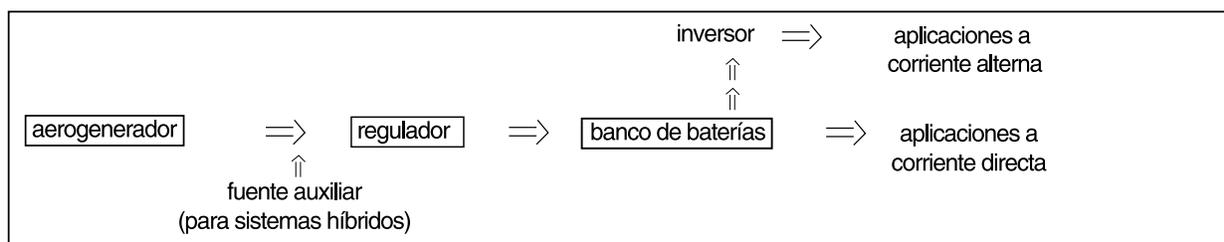


Figura 8. Esquema de un sistema eólico aislado



## 5.2.2 Sistemas centralizados

La generación eólica se hace más atractiva económicamente con una demanda de electricidad más alta. Se estima que si la demanda es superior a 10 kWh por día, un sistema eólico es más barato que uno fotovoltaico, aunque esto depende de la disponibilidad de los recursos naturales para las dos fuentes. Esto hace que, si las viviendas a electrificar se encuentran relativamente próximas entre sí, la opción más apropiada puede ser un sistema eólico centralizado debido a la concentración de equipos y energía, lo cual ofrece ventajas desde los puntos de vista técnico y económico.

Un sistema eólico centralizado satisface la demanda energética de una comunidad con electricidad producida, almacenada y transformada en un “sistema eólico central” y que luego se distribuye, a través de líneas eléctricas, hasta cada una de las viviendas y otros sitios. Generalmente, este tipo de sistemas cuenta con más de una fuente de generación, para lograr mayor confiabilidad del sistema.

## 5.2.3 Sistemas híbridos

Pequeñas turbinas eólicas brindan una solución atractiva para la electrificación rural en muchos lugares, por su operación económica y simple. Sin embargo, la fluctuación del viento no permite obtener una producción de electricidad constante. Por esta razón, frecuentemente, se usa una turbina eólica en combinación con otra fuente de generación; por ejemplo, paneles fotovoltaicos o un generador eléctrico a base de diesel. Este tipo de sistema se llama un “sistema híbrido”. La mayor ventaja de un sistema híbrido es que provee mayor confiabilidad para la generación eléctrica comparado con uno individual.

La combinación de energía eólica con paneles fotovoltaicos es muy apropiada para zonas aisladas porque no requiere del transporte de combustibles fósiles y, en muchos lugares, la disponibilidad del viento complementa la del Sol.

Los sistemas híbridos son especialmente buenos para la electrificación de comunidades y para usos productivos como el procesamiento de productos agrícolas, porque estas aplicaciones, generalmente, requieren un servicio eléctrico más confiable y estable.

## 5.2.4 Comunicación

Resulta de interés el empleo de aerogeneradores para dispositivos de ayuda a la navegación, los repetidores de radio y televisión y las estaciones meteorológicas. Este tipo de instalaciones generalmente están en lugares con potenciales eólicos aceptables y que suelen distar de la red de distribución eléctrica.

## 5.3 Sistemas eléctricos conectados a la red

### 5.3.1 Parques eólicos

Un parque eólico usa la misma tecnología básica que un pequeño sistema, aunque a una escala mayor. Generalmente, se coloca una serie de turbinas grandes (desde 100 hasta 2.000 kW), que pueden ser de decenas a centenares, en un sitio con condiciones de viento muy favorable. Aparte de la escala, la otra gran diferencia con sistemas pequeños es la ausencia de baterías, y que se conectan directamente a la red eléctrica existente.



La variabilidad del viento tiene un impacto en la calidad de la electricidad que se pueda suministrar a la red con la energía eólica; i.e., la estabilidad del voltaje y la frecuencia. Sin embargo, turbinas modernas son diseñadas específicamente para manejar estas variaciones y producir electricidad de forma constante, con mecanismos que controlan el nivel de aprovechamiento de la energía del viento. El uso de varias turbinas también ayuda a disminuir la fluctuación en la generación, porque la turbulencia de una, cancela la de otra. No necesariamente todo el grupo de turbinas que abastece la red eléctrica tiene que operar de forma simultánea, de forma similar a las plantas térmicas, en un sistema convencional, algunos equipos periódicamente están fuera.

Hasta la fecha, en América Central sólo se han instalado parques eólicos en Costa Rica, mientras que en los otros países se están desarrollando varios proyectos a nivel de pre-inversión. El desarrollo de estos parques requiere estudios detallados de las características del viento en un sitio dado, debido a que variaciones en la disponibilidad pueden tener fuertes repercusiones en la factibilidad del proyecto.



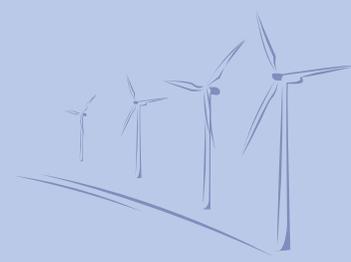
Figura 9. Parque eólico en Tilarán - Costa Rica

### 5.3.2 Pequeños sistemas conectados a la red

Si la legislación del sector eléctrico lo permite, existe la oportunidad de suministrar energía a la red con pequeños sistemas eólicos. Esto es aplicable en los casos en que exista una red en las proximidades del centro de consumo.

En este esquema, la energía requerida por el usuario sería suministrada por el sistema eólico y por la red eléctrica. Si el aerogenerador produce energía en exceso, se entrega el excedente a la red eléctrica y, si se produce menos energía de la requerida, se toma de la red.

El almacenamiento de la electricidad en baterías es opcional, pero su inclusión exige dispositivos rectificadores de corriente alterna para la carga de las baterías y onduladores de corriente continua (inversores).



## 6. Costos

### 6.1 Proyectos aislados

#### 6.1.1 Sistemas eléctricos

El costo de un proyecto eólico eléctrico y aislado puede variar considerablemente dependiendo de varios factores, entre los cuales se destacan la capacidad eléctrica a instalar en kW, la inclusión de baterías, el uso de un inversor y aspectos relacionados con la instalación, como la distancia del centro de venta y el acceso al proyecto.

El costo de una pequeña turbina eólica oscila entre US\$ 1.500 y \$3.000 por kilovatio (kW). A esto hay que agregarle los costos de los otros componentes, como la torre, las baterías, el inversor, los materiales eléctricos y la instalación en el sitio. El costo de la turbina representa del 25 al 50% del valor total del sistema, dependiendo de su capacidad eléctrica y de la inclusión de otros componentes. Un sistema completo típico cuesta entre US\$ 2.000 y US\$ 4.000 por kW. La vida útil de un sistema eólico completo se estima entre 15 y 20 años, con un mantenimiento adecuado.

Adicionalmente, hay que considerar el valor de la operación y del mantenimiento, y reemplazo de algunos componentes que tengan una vida útil más corta. La inversión en operación y mantenimiento es necesaria para conservar el sistema en buenas condiciones; representando de un 3% a un 5% del costo total a lo largo de toda su vida útil. Los costos por reemplazo se refieren más que todo al cambio de las baterías, las cuales, generalmente, tienen una vida útil de entre tres y cinco años.

La energía eólica, muchas veces, es la opción más barata para sitios remotos no conectados a la red eléctrica, en comparación con otras opciones como plantas de diesel, sistemas fotovoltaicos o extensión de la red. Sistemas híbridos, en que se combina la energía eólica con otra fuente de generación como, por ejemplo, sistemas fotovoltaicos o generadores diesel, pueden proveer la opción técnica y económicamente más eficiente, porque explotan las ventajas de la disponibilidad del recurso energético con la curva de demanda.

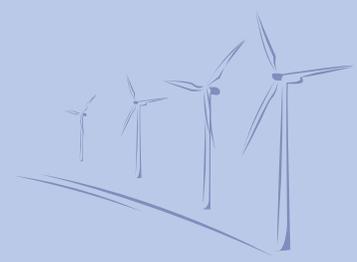
#### 6.1.2 Bombeo de agua

Igual que los sistemas eléctricos, los costos del sistema eólico para bombeo de agua pueden variar dependiendo de varios factores, sobre todo de la capacidad de bombear agua en litros por segundo. Se estima que el costo total para un sistema mecánico es alrededor de US\$ 2.500 a \$10.000, mientras que uno eléctrico para bombeo de agua suele costar entre US\$ 8.000 y \$25.000. La inversión en mantenimiento y reemplazo, generalmente, es más baja para sistemas mecánicos, porque no tienen componentes eléctricos.

### 6.2 Proyectos conectados a la red

El costo para producir electricidad generada por el viento en sistemas grandes se ha reducido en más de un 80% en los últimos 20 años. Los avances en la tecnología, la fabricación a gran escala y una mayor experiencia han jugado un papel muy importante para disminuir el costo de la producción de energía eólica.

Bajo las condiciones actuales, las plantas de energía pueden generar electricidad con precios de entre US\$ 0,03 y \$0,05 por kilovatio-hora producido. Este monto incluye costos de operación y mantenimiento, seguros y el capital de inversión. Cuando se compara con los precios de la energía eólica de hace veinte años, encontramos que han ido disminuyendo: en 1981 eran de, aproximadamente, 25 centavos de dólar por kWh. Se espera que el costo de generación baje aún más, entre un 10% y un 20% en los próximos 5 años. Los de operación y mantenimiento son bastante bajos: en parques eólicos, conjunto de molinos que trabajan en red, en operación van de 0,008 a 0,02 centavos de dólar por kilovatio-hora.



El precio promedio por kilovatio instalado de aeroturbinas de tamaño grande bajó de unos US\$3.000, en 1980, a \$950, en el 2000. En general, las turbinas, incluyendo la instalación, equivalen al 80% del costo inicial; el resto incluye la obra civil, la conexión a la red, la propiedad o constituyen alquiler de los terrenos y los caminos de acceso, entre otras cosas. Estos últimos pueden variar considerablemente de un proyecto al otro. La Tabla 1 presenta un resumen de los diferentes costos.

Tabla 1. Costos de la energía eólica.

	1980	1990	2000
Disponibilidad	60%	97%	98%
Costo de inversión \$/kW	3.000	1.000	950
Potencia típica por unidad	100	500	1.500
Costo de producción (centavos de US\$/kWh)	30	5-7	3-5

## Consideraciones

En comparación con otras fuentes de generación eléctrica, tanto plantas térmicas como renovables, la energía eólica puede ser muy competitiva. Sin embargo, existen algunos aspectos que hay que tomar en cuenta al evaluar el costo relativo de esta tecnología (AWEA, 2001):

- El valor es afectado, significativamente, por la velocidad promedio del viento, porque la cantidad de energía generada aumenta exponencialmente con la velocidad del viento: pequeñas diferencias en ésta significan grandes diferencias en la generación y en consecuencia, en los costos. Por ejemplo, un parque eólico que pueda generar a un costo de 4,8 centavos/kWh, con una velocidad del viento de 7,2 m/s, generaría a 2,6 centavos/kWh con una velocidad de 9,3 m/s, o sea, habría una reducción del 45%. El tamaño del parque eólico también afecta el costo de generación; por ejemplo, una planta de 3 MW generando a 5,9 centavos/kWh, generaría, considerando todos los otros factores iguales, a 3,6 centavos/kWh, si la capacidad fuera 51 MW.

- La energía eólica es muy demandante en capital, es decir, su valor principalmente es definido por el capital requerido para la fabricación y la instalación de las turbinas. Consecuentemente, los costos de generación dependen mucho de la inversión inicial; o sea, la ingeniería financiera del proyecto.

- Actualmente, los proyectos eólicos suelen financiarse a plazos relativamente cortos y a tasas de interés comerciales, lo cual implica, generalmente, una elevada carga de deuda en los primeros diez años; por ello se busca que los arreglos financieros cuenten con un financiamiento a largo plazo, como los de proyectos energéticos convencionales. Se ha estimado que, si los parques eólicos se financiaran con condiciones iguales a las plantas de gas natural, por ejemplo, el costo de generación bajaría en casi un 40%.

- El precio de la energía eólica se está reduciendo más rápido que el de la generación convencional, por ejemplo en la última década el precio se redujo en un 15% cada vez que se duplicó la capacidad instalada mundial.

- Si los costos de generación internalizan los costos ambientales, la energía eólica sería aún más competitiva por los bajos impactos que produce. Los parques eólicos no generan emisiones ni impactos en la etapa de exploración, transporte de combustibles o transformación del recurso.

## 7. Aspectos Ambientales



Existe un amplio consenso en nuestra sociedad sobre el alto grado de compatibilidad entre las instalaciones eólicas y la capacidad de carga de los ecosistemas naturales. En comparación con las fuentes de energía convencionales, los impactos ambientales de la energía eólica son locales y, por lo tanto, se pueden monitorear y mitigar con relativa facilidad. Las turbinas eólicas no emiten sustancias tóxicas o gases, por lo que no causan contaminación del aire, del agua y del suelo, y no contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global. Aún así, existen ciertos impactos derivados del aprovechamiento de la energía eólica que no deben obviarse en el diseño de un proyecto eólico.

En proyectos grandes, las acciones que generan mayor número de impactos son las referidas a obras civiles: vías de acceso, cunetas, edificaciones de control y subestación. Todas estas intervenciones causan una alteración del suelo y de la cubierta vegetal y, en ocasiones, pequeñas modificaciones geomorfológicas por desmontes o aplanamientos. No obstante, en la mayoría de los casos, el acceso principal son carreteras ya existentes.

Otro aspecto que se considera como impacto es el ruido, tanto el producido por las máquinas, como el aerodinámico, producto de la rotación de las aspas. Sin embargo, mejoras en diseños recientes, por ejemplo en la calidad de los sistemas mecanizados y los tratamientos superficiales de los materiales que forman las aspas, el ruido producido por una turbina se ha disminuido significativamente. Una turbina grande a 250 metros de distancia produce un ruido equivalente al compresor de un refrigerador doméstico estándar.

El uso de los suelos a menudo es tema de discusión con respecto al desarrollo de plantas eólicas, instalaciones que han sido criticadas por usar terrenos extensos. La experiencia de campo en los Estados Unidos indica que la mayoría de los proyectos ocupan menos de ocho hectáreas por megavatio; sin embargo, es importante observar, cuando se habla de las tierras usadas por los parques eólicos, que muy poca de ella realmente se ocupa: la tecnología hace que se preste, perfectamente, para compartirla con otras actividades como el pastoreo y la agricultura. En términos de ocupación real de la tierra, un parque eólico, requiere de un 1 a un 5% del terreno para las turbinas y vías de acceso. El resto del terreno se puede utilizar en otras actividades tradicionales.

Con respecto al consumo de agua, la energía eólica necesita mucha menos comparada con otras fuentes de generación. Mientras que las plantas térmicas ocupan mucha agua para el ciclo termodinámico, las turbinas eólicas sólo necesitan agua para limpiar las aspas en áreas secas, cuando la lluvia no lo hace. Se estima que la energía eólica consume 0,004 litros por kWh, frente a 1 ó 2 litros/kWh por las plantas térmicas.

Los parques eólicos, por lo general, están ubicados en áreas montañosas, en posiciones próximas a las partes altas, en donde se suele manifestar un alto potencial del recurso. En estas zonas el grado de conservación natural suele ser bueno y, en ocasiones, con alto poder paisajístico, por lo que la ocupación del terreno por las instalaciones del parque eólico es un factor de importancia por su posible impacto en los recursos naturales, paisajísticos o culturales de la zona. El “oscurecimiento” ha sido un efecto que ha requerido estudios específicos, ya que las personas que residen cerca de los parques eólicos manifiestan tener menor disponibilidad de luz en sus viviendas.

Sin embargo, su incidencia es de escasa importancia, puesto que la ocupación irreversible del suelo por efecto de la instalación de los aerogeneradores representa un porcentaje muy bajo en relación con la superficie total ocupada por el parque, quedando prácticamente todo el terreno disponible para aquellos usos que habitualmente se daban en el área del emplazamiento.



## Aspectos Ambientales

La construcción hace que la fauna (mamíferos superiores principalmente), durante la fase de construcción, se desplace temporalmente pero se ha comprobado que, finalizada la obra, vuelve al área del parque eólico a pesar del ruido y de las labores de mantenimiento en la instalación. Esto incluye a las aves locales, no así a las migratorias que, en caso de transitar, son previsiblemente más afectadas por el riesgo de colisión contra las aspas, torres y tendidos eléctricos; si bien, esto depende de su tamaño, tipo de visión y agilidad de vuelo. Los datos disponibles indican que, aún en zonas de paso de grandes bandadas de aves migratorias, los impactos observados son pequeños y los riesgos para aves locales o animales voladores nativos casi nulos.

Otro aspecto que ha sido tema de discusión son las aeroturbinas con aspas de acero, ya que han sido señaladas como causa de interferencia electromagnética en ciertos casos, al interrumpir los sistemas de televisión, radio, microondas y de navegación. Debido a esto, los constructores han tenido que demostrar que ellas no causarán interferencias significativas en los nuevos sitios. No se espera que esto sea un serio impedimento para el desarrollo de las aeroturbinas, dado que la mayoría de las aspas en la actualidad, son de fibra de vidrio o de madera laminada, por lo cual no producen el mismo efecto.

De cualquier forma, las instalaciones de parques eólicos deben ser precedidas por un estudio de impacto ambiental que debe ser aprobado por las autoridades competentes en el tema, para obligar a los promotores de proyectos eólicos a adoptar las medidas pertinentes y aminorar, así los posibles impactos negativos que puedan producir sobre el medio ambiente local.



Figura 10. Vista parque eólico, Tilarán - Costa Rica  
(Foto: cortesía Sr. Misael Mora)

## 8. Ventajas y Desventajas



### 8.1 Ventajas

La energía eólica presenta varias ventajas, entre las cuales se pueden destacar las siguientes:

- Su impacto al medio ambiente es mínimo: no emite sustancias tóxicas o gases, por lo que no causa contaminación del aire, el agua y el suelo, y no contribuye al efecto invernadero y al calentamiento global. La producción de energía por medios eólicos no presenta incidencia alguna sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosionabilidad, ya que no se produce ninguna contaminación que incida sobre este medio, ni tampoco vertidos o grandes movimientos de tierra.
- El viento es una fuente de energía inagotable y abundante. Se estima que, teóricamente, existe el potencial eólico para suplir 15 veces la demanda actual de energía en el mundo.
- La tecnología no usa combustibles y el viento es un recurso del propio país, por lo que es una de las fuentes más baratas: cuando existe potencial comercialmente explotable puede competir en rentabilidad económica con otras fuentes tradicionales como las centrales térmicas de carbón (consideradas el combustible más barato) ó, incluso, con la energía nuclear, la cual tiene un impacto ambiental mucho mayor.
- En comparación con otras tecnologías aplicadas para electrificación rural, la operación de un sistema eólico es muy barata y simple. El sistema no requiere mayor mantenimiento, aparte de una revisión periódica de las baterías, en caso de tenerlas, y una limpieza de las aspas en épocas secas.
- Proyectos de energía eólica se pueden construir en un plazo relativamente rápido; por ejemplo, un parque eólico de 50 MW se puede instalar en un año; si la etapa de pre-construcción ha sido cuidadosamente planificada y ejecutada.

### 8.2 Desventajas

Como toda fuente de energía, la eólica tiene sus desventajas también:

- La variabilidad del viento: para proyectos aislados se requiere de un mecanismo de almacenamiento en batería de la energía generada, para poder disponer de energía cuando no haya suficiente viento. Esto representa un costo adicional al sistema. Para parques eólicos la variabilidad del viento impacta en la calidad de la electricidad que se pueda entregar a la red eléctrica; i.e., la estabilidad del voltaje y la frecuencia. A pesar de los buenos avances en el diseño de las turbinas eólicas para disminuir el impacto de la variabilidad del viento, ésta representa un riesgo en la inversión al no poder suplir los compromisos; adicionalmente, no se puede disponer de energía siempre que el sistema lo demande.
- El alto costo inicial: en comparación con fuentes térmicas de generación, un proyecto eólico tiene un alto costo inicial. Si bien, a lo largo de su vida útil puede resultar más económico por sus bajos costos de operación y mantenimiento, la inversión inicial requerida puede ser una barrera para la realización del proyecto, sobre todo en zonas rurales aisladas.
- Cantidad de viento: es una opción factible y rentable sólo en sitios con suficiente viento, lo cual significa que no se puede aplicar en cualquier lugar.
- El impacto visual: desde el punto de vista estético, produce un impacto visual inevitable, ya que, por sus características, precisa emplazamientos físicos que normalmente evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas, litoral). En este sentido, el desarrollo del parque eólico puede producir una alteración sobre el paisaje.

## 9. Experiencias en América Central



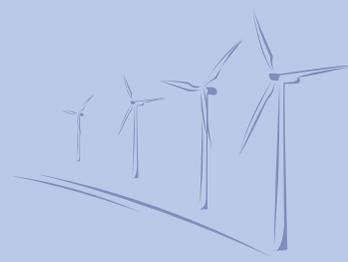
### 9.1 Proyectos desarrollados por país

El desarrollo de la energía eólica, en América Central, para generación eléctrica se puede considerar como incipiente. Hay algunos proyectos ya en operación y varias iniciativas para desarrollar más proyectos a escala mediana y grande; sin embargo, el conocimiento de la tecnología y sus oportunidades es limitado, así como la capacidad institucional para acelerar el desarrollo de proyectos eólicos.



Figura 11. Parque eólico, Tilarán - Costa Rica.  
(Foto: cortesía Sr. Misael Mora)

La siguiente tabla muestra un resumen de los proyectos grandes bajo desarrollo y en operación en la región, representando un potencial total de unos 400 MW. Se puede destacar que, de los siete países, la energía eólica está más avanzada en Costa Rica, con cuatro parques eólicos operando. En los otros países se están desarrollando varios proyectos, por lo que se puede esperar que, en pocos años, haya más en operación.

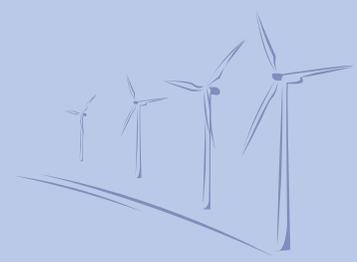


## Experiencias en América Central

Tabla 2. Proyectos eólicos en América Central.

PAIS	PROYECTO	POTENCIA	ESTADO DE AVANCE	
Belice	Estación repetidora de Cocesna	10 kW	En operación	
Guatemala	Parque eólico Buenos Aires	20 MW	Factibilidad	
	Parque eólico de Huité	15-60 MW	Factibilidad	
	Cerro Miramundo	3,2 MW	Factibilidad	
	Parque eólico San Marcos	3 MW	Factibilidad	
	Proyecto Quince	4 kW	Factibilidad	
	Sistemas aldeas Chacula, Nenton, Huehuetenango	18 kW	Factibilidad	
	Sistemas Santa Bárbara	10-15 kW	Factibilidad	
	Amatitlán		Pre -Factibilidad	
	El Salvador Honduras	San Marcelino	3,6 06,3 MW	Factibilidad
Cerro Hule		60 MW	Factibilidad	
Varios sistemas aislados en la Isla de Roatán		2-3 MW	Viabilidad	
Utila		0,75 -1 MW	Factibilidad	
Nicaragua	Sistemas aislados Mosquita	10-20 MW	Viabilidad	
	Varios Privados	10-20 MW	Medición	
	Consortio europeo	25 MW	En concesión	
	Enron Wind Corporation en Rivas	30 MW	En concesión	
	Ventus en Chontales	20-30 MW	En concesión	
	Enisa	25 - 30 MW	En concesión	
	Costa Rica	Plantas eólicas S.R.L.	20 MW	En operación
		Aeroenergías	6 MW	En operación
MOVASA		20 MW	En operación	
Tejona (ICE)		20 MW	En operación	
Valle Central, CNFL S.A.		20 MW	Pre -Factibilidad	
Chorotega, Coope Guanacaste		10-15 MW	Factibilidad	
La Ventoleras, JASEC		10-15 MW	Factibilidad	
Puerto Azul, San Ramón		20 MW	Factibilidad	
Varios privados		60 MW	Factibilidad	
Panamá		Quijada del Diablo en Chiriquí	30 MW	Factibilidad
	Cerro Homitos	n.d	Medición	
	Boquete	n.d	Medición	
	Varios privados	n.d	Medición	
	Cerro Tute en Veraguas	20 MW	Factibilidad	

Fuente: ERAC, 2000 / BUN-CA



Un esfuerzo para impulsar la energía eólica en la región fue el proyecto Energías Renovables en América Central: el mercado potencial de la energía eólica, producto de una colaboración entre el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, el Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente de Honduras y la Comisión Europea. El proyecto se desarrolló durante 1999 y 2000, con el objetivo de impulsar el desarrollo de las energías renovables, con un enfoque en la energía eólica. Como resultados se destacan un análisis de la situación actual de las energías renovables, propuestas de políticas para impulsar su desarrollo, un portafolio preliminar de proyectos y la identificación de las barreras principales.

Otra iniciativa que promueve la energía eólica en la región es el proyecto Determinación del Potencial de la Energía Eólica en Panamá, realizado por la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A. (ETESA) de Panamá, patrocinado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), por medio del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El proyecto ha elaborado un mapa eólico del país y ha identificado sitios promisorios para el desarrollo del primer parque eólico de 20 MW.

En el contexto de FOCER, BUN-CA ha desarrollado varias actividades para promover la energía eólica. En marzo del 2000, FOCER facilitó y patrocinó la participación de diez representantes de América Central en el Curso sobre generación de electricidad por medio de la energía eólica, en el proyecto del Parque Eólico Tejona Guanacaste, Costa Rica. Este curso fue organizado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y la Asociación ERA, e impartido mediante sesiones técnicas por el ECN de Holanda. Además, FOCER apoyó la elaboración de un plan de negocios del proyecto eólico El Rodeo de 3 MW, desarrollado por la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos en Guatemala, con asistencia técnica de NRECA en Guatemala.

Además de proyectos medianos o grandes, en todos los países de América Central se encuentran suplidores de pequeños sistemas, los cuales desarrollan programas de electrificación rural con sistemas eólicos (ver Anexo II).

## 9.2 Principales barreras al desarrollo de la energía eólica

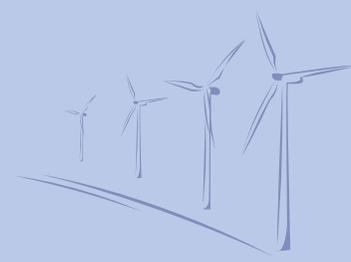
El desarrollo de la energía eólica en América Central ha estado limitado, no por la disponibilidad del recurso “viento” en la región, sino por una serie de obstáculos o barreras externas que se pueden considerar comunes en todos los países. Estos se pueden resumir en las siguientes categorías:

- a. Barreras de información
- b. Barreras financieras
- c. Barreras tecnológicas
- d. Barreras de mercado

### a. Barreras de información

En la región existe un gran desconocimiento de las oportunidades de la energía eólica entre los desarrolladores de proyectos, las agencias estatales del sector de energía, las universidades y las poblaciones rurales en necesidad de mayor capacidad de generación de origen local. Existen varias experiencias con sistemas pequeños, sobre todo para bombeo de agua, pero estas iniciativas no son coordinadas y no hay información disponible de su contribución al balance energético de los países.

Otra barrera de información ha sido la falta de mapas de vientos en la región que puedan orientar sobre el desarrollo del potencial eólico para generación eléctrica, a los inversionistas y los gobiernos.



## b. Barreras financieras

Estas se refieren a la limitación de los recursos de inversión de los desarrolladores de proyectos. Pueden considerarse como barreras financieras todas aquellas que incidan sobre los costos y la toma de decisiones para hacer un proyecto eólico viable; por ejemplo:

- **Altos costos iniciales:** al igual que en las otras tecnologías de energía renovable, el costo inicial de un proyecto eólico es alto en comparación con sistemas basados en combustibles fósiles, como las plantas de diesel. Si bien, sobre la vida útil del proyecto, el costo total puede ser menor, dados los bajos precios de operación y mantenimiento, la alta inversión inicial requerida es un factor limitante para su realización, sobre todo en zonas rurales sin electricidad y con poca capacidad de pago.

- **Falta de acceso a financiamiento:** debido a esta alta inversión inicial y a su recuperación a largo plazo, se requiere identificar fuentes de financiamiento a un tiempo relativamente largo. Por ejemplo, para un parque eólico se requiere financiamiento durante, por lo menos, 10 años; sin embargo los recursos de inversión disponibles en la región de América Central son de corto plazo, lo cual inhibe su desarrollo. Con respecto a proyectos pequeños, existen pocas fuentes de financiamiento para electrificación de viviendas rurales. Hay, entonces una necesidad evidente de contar con fondos especializados en proyectos de energía renovable.

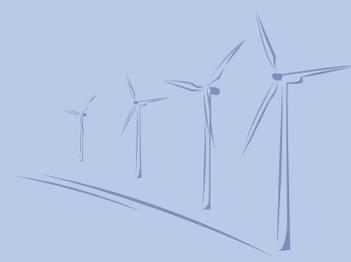
- **Riesgo de inversión:** el sector financiero ve un alto riesgo en la inversión de proyectos eólicos, sobre todo por la variación de generación debido a las fluctuaciones del viento. Para minimizar ese riesgo se requiere elaborar estudios detallados de las características del viento a largo plazo, con el fin de conocer con suficiente certeza el potencial comercial de generación.

- **Estabilidad de los niveles de los precios de venta:** el sector eléctrico en la mayoría de los países centroamericanos se encuentra en movimiento hacia mercados abiertos, lo cual resulta en una tendencia a la búsqueda de la fuente de generación más barata a corto plazo, y el establecimiento de los precios eléctricos según el mercado libre (e.g. mercado de ocasión ó mercado spot). Por el alto costo inicial, los proyectos eólicos requieren garantizar la operación y venta durante un período relativamente largo para ser factibles y competitivos. La tendencia del mercado eléctrico es una barrera para lograr la certeza de flujo de caja que busca el inversionista. Hay que afirmar que, por medio de los contratos de suministros a largo plazo, sí existe una medida para superar esta barrera.

## c. Barreras tecnológicas

La mayor barrera tecnológica es la variabilidad del viento. Esto significa que no se puede disponer de la energía cuando el sistema lo demande y que se requiere un mecanismo de almacenamiento o compensación de otras fuentes.

Con respecto a proyectos conectados a la red eléctrica, el despacho de carga puede estar limitado por su capacidad de integrar sistemas de generación caracterizados por la fluctuación y la ausencia de pronósticos de la capacidad firme. En los sistemas existentes, la energía eólica sería integrada como generación de base ("base load") siempre y cuando se disponga de ella. Actualmente existe una falta de experiencia por parte de los centros de despacho en los diferentes países, sobre el manejo de la energía producida por los parques eólicos. Esta es una barrera tecnológica importante, pero superable mediante el entrenamiento del personal de dichos centros.



## Experiencias en América Central

### d. Barreras de mercado

El modelo de mercado eléctrico más competitivo existente que se ha introducido en la mayoría de los países, representa una barrera relevante para la implementación de la energía eólica en el sector eléctrico. Cuando este mercado esté completamente liberado, los generadores eólicos deberían ser despachados según orden de mérito. Esto trae consigo varias consecuencias:

a. El hecho de ser despachados o no es un riesgo para los generadores eólicos, porque esto funciona según los costos variables o el valor del agua, en el caso de plantas hidroeléctricas; por eso, la fuente eólica con costos variables casi cero debería ser despachada con mayor prioridad.

b. Está la obligación de las distribuidoras de cubrir el 100% de la capacidad firme. En el caso de la energía eólica la capacidad firme, aunque existente, sería muy baja comparada con la instalada o el promedio real. Por lo tanto, sería muy difícil pactar un contrato a largo plazo que sirva de base sólida para cualquier proyecto eólico.

c. Los precios de la electricidad en el mercado están sometidos a la variación; esto representa una desventaja para cada generador, pues está expuesto al riesgo de la incertidumbre en torno a las ventas futuras de energía (a largo plazo).

d. La cantidad de energía vendida en el mercado centroamericano se da únicamente a precios determinados por los costos variables de los otros generadores en el sistema, lo que puede provocar que los ingresos no justifiquen inversiones en parques eólicos.

e. En algunos países el sistema tarifario para la transmisión se basa en el principio de que los generadores que están cerca del centro de carga tienen que pagar una tarifa de peaje menor que los que están lejos. Por lo tanto, la remuneración para el acceso está determinada por el punto físico (nodo) de conexión a la red eléctrica. Este método incluso, podría resultar en tarifas negativas; es decir, en créditos que recibirían algunos generadores por su cercanía a los puntos de demanda. Por lo general, los sitios favorables para parques eólicos no están cerca de centros de demanda eléctrica, por lo que, en general, los generadores tendrán que pagar una tarifa superior a las de otros.



Figura 12. Parque eólico Tilarán - Costa Rica  
(Foto: cortesía Sr. Misael Mora)



[www.esolucionesca.org](http://www.esolucionesca.org)





# ANEXOS



## ANEXO 1. Publicaciones y Sitios Web Recomendados

### Algunas publicaciones recomendadas

American Wind Energy Association, disponible en AWEA (2001). The most frequently asked questions about wind energy. <http://www.awea.org>

ECN (2001). Generación de electricidad por medio de energía eólica. Curso organizado por ICE, ERA, ECN y BUN-CA. Costa Rica, marzo del 2001.

ERAC (1999). Desarrollo de energías renovables en el proceso de liberalización del mercado energético en América Central. Primer y segundo informe del proyecto “Energías Renovables en América Central”.

ERAC (2000). Energías renovables en América Central, el mercado potencial de la energía eólica. Memoria del seminario regional. Tegucigalpa, Honduras, mayo del 2000.

FENERCA (2001). Modelos empresariales para servicios energéticos aislados. Programa “Financiamiento de Empresas de Energía Renovable en Centroamérica (FENERCA)”. E+CO, BUN-CA, PA Government Services, San José, Costa Rica.

FENERCA (2001). Promoción de energía renovable en Centroamérica: oportunidades para el planteamiento de políticas. Programa “Financiamiento de Empresas de Energía Renovable en Centroamérica (FENERCA)”. E+CO, BUN-CA, PA Government Services, San José, Costa Rica.

Gipe, P. (2000). Energía eólica práctica. Promotora General de Estudios S.A., Sevilla, España.

Progresa (2001). Energía eólica. Monografías técnicas de energía renovable. Promotora General de Estudios S.A., Sevilla, España.

### Algunos sitios web recomendados

#### 1. Información educativa

<http://www.solstice.crest.org/renewables/re-kiosk/wind/index.shtml>  
Información básica sobre aplicaciones, tecnologías y aspectos económicos de la energía eólica.

<http://www.windpower.dk>  
Sitio informativo de la Asociación Danesa de la Industria de la Energía Eólica, enfocado en turbinas grandes.

<http://www.dianet.com.ar/dianet/users/Solis/Informe2.htm>.Energía eólica  
Datos sobre el funcionamiento de la energía eólica, además con información de otras fuentes de energía.

<http://www.eole.org/>  
Sitio sobre pequeños y grandes sistemas eólicos (en francés).



## 2. Fabricantes y desarrolladores de proyectos

Sistemas grandes

<http://www.vestas.com/>

Vestas Wind Systems: fabricante danés de aerogeneradores de 660 a 2.000 kW.

<http://www.bonus.dk/>

BONUS Energy A/S: fabricante danés de aerogeneradores de 600 a 2.000 kW.

<http://www.neg-micon.com/>

NEG Micon A/S: fabricante danés de aerogeneradores de 600 a 2.500 kW.

<http://www.made.es/>

MADE-ENDESA: diseñados y fabricante de aerogeneradores de 300 a 1.300 kW.

<http://www.wind.enron.com/>

Enron Win:, fabricante norteamericano de aerogeneradores de 750 a 1.500 kW.

<http://www.gamesa.es/>

Gamesa Eólica: fabricante, diseñador y desarrollador tecnológico de aerogeneradores; instalador de parques eólicos "llave en mano", operador y encargado de mantenimiento de parques eólicos.

<http://www.nordex-online.com/>

Nordex A/S: fabricante danés de aerogeneradores de 250 a 2.500 kW.

Sistemas pequeños eléctricos

<http://www.bergey.com/>

Bergey Windpower Co: fabricante norteamericano de pequeños aerogeneradores (1 - 10 kW).

<http://www.windenergy.com/>

Southwest Windpower: fabricante norteamericano de pequeños aerogeneradores (400 - 3.000W).

<http://www.almac.co.uk/proven/>

Proven: fabricante británico de pequeños aerogeneradores (600 - 6.000 W) y otros equipos renovables.

<http://www.windmission.dk/>

Windmission: fabricante danés de pequeños aerogeneradores (600 - 4.000W).

<http://www.aocwind.net/>

Atlantic Orient Corporation: fabricante norteamericano de pequeños aerogeneradores (10 - 50 kW).

<http://www.venwest.iinet.net.au/tubines.htm>

Westwind: fabricante australiano de pequeños aerogeneradores (2,5 - 20 kW).

<http://www.synergypowercorp.com/>

Synergy Power Corp: fabricante de pequeños aerogeneradores específicamente diseñados para bajas velocidades de viento.

Sistemas mecánicos para bombeo de agua

<http://www.windmillpower.com/homeSP.html>

Windtech International: fabricante de sistemas eólicos para bombeo de agua.

# Publicaciones y Sitios Web Recomendados



<http://www.dutchind.com/>  
Dutch Industries  
<http://www.airliftech.com/>  
Airlift Technologies

<http://www.aermotorwindmills.com/>  
Aermotor Windmills

<http://www.bowjon.net/>  
Bowjon International

### 3. Otros

<http://www.nrgsensors.com/>  
NRG Systems, fabricante de sistemas de medición eólica.

### 4. Revistas

<http://www.windpower-monthly.com>  
Windpower Monthly: revista mensual (en inglés).

<http://www.windstats.com>  
Windstats Newsletter: revista internacional (en inglés).

<http://www.windmillersgazette.com/>  
Windmillers' Gazette: revista de sistemas eólicos para bombeo de agua (en inglés)

### 5. General

<http://www.awea.org>  
Asociación Americana de la Energía Eólica.

<http://www.ewea.org>  
Asociación Europea de la Energía Eólica.

<http://www.britishwindenergy.co.uk/>  
Asociación Británica de la Energía Eólica.

<http://www.indianwindpower.com/>  
Asociación de Fabricantes de Turbinas Eólicas de India.

<http://www.igc.org/energy/wind.html>  
Recursos en la Internet sobre la energía eólica.

<http://www.winddata.com/>  
Base de datos sobre características del viento de la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU).



## Publicaciones y Sitios Web Recomendados

<http://www.eco-web.com/>

Directorio global de tecnologías ambientales, incluyendo energía eólica.

<http://www.energy.sourceguides.com/businesses/byP/wRP/wRP.shtml>

Directorio de negocios eólicos en el mundo.

<http://www.idae.es/>

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España.

<http://www.bun-ca.org>

Biomass Users Network: Oficina regional para Centro América (BUN-CA), ONG con la misión de contribuir al desarrollo y fortalecimiento de la capacidad productiva de América Central, en cuanto a energía renovable, eficiencia energética y agricultura sostenible.

<http://www.energyhouse.com>

E+Co: Corporación de inversiones en energía renovable y eficiencia energética, sin fines de lucro.



# ANEXO 2. Consultores y Suplidores de Equipo en América Central

(Espacio para anotar nuevas referencias)

**BELICE:**

Kelosha Corporation  
P.O. Box 165  
Dangriga  
Tel.: (501) 5-12050  
E-mail: mamananoots@btl.net

---

---

---

**GUATEMALA:**

LUEX  
3ª. Av. 13-33 zona 1  
Ciudad de Guatemala  
Tel.: (502) 232-2603  
Fax: (502) 232-8518

---

---

---

**DINTERSA**

5ª Avenida 1-71, zona 9, local 4  
CP 01009 Ciudad de Guatemala  
Tel.: (502) 332-3807, 332-3918  
Fax: (502) 332-3918  
E-mail: dintersa@microq.com.gt

**EL SALVADOR:**

TECNOSOLAR  
Colonia Centroamérica, Calle San Salvador 417  
San Salvador  
Tel./fax: (503) 260-2448, 261-1184  
E-mail: tecnosolar@navegante.com.sv

---

---

---

**SERVICIOS SOLAR**

Alameda Dr. Manuel Enrique Araujo  
Km. 5, Calle a Santa Tecla  
Plantel COGESA  
San Salvador  
PBX: (503) 298-2706  
Fax: (503) 279-4911

**HONDURAS:**

RELECTOR  
Plaza Gral. San Martín # 346  
Colonia Palmira  
Tegucigalpa  
Tel.: (504) 232- 4062  
Fax: (504) 232- 4111

---

---

---



# Consultores y Suplidores de Equipo en América Central



SOLARIS  
Col. Palmira.  
Av. Rep. de Chile # 218  
Tegucigalpa 2351  
Tel.: (504) 239-1028  
Fax: (504) 232- 8213  
E-mail: solaris@interdata.hn

## **NICARAGUA:**

ECAMI  
Altos de Santo Domingo  
Las Sierritas  
Managua  
Tel.: (505) 276-0925  
Fax: (505) 276-0240  
E-mail: ecami@ibw.com.ni

---

---

---

TECNOSOL  
Rotonda Bello Horizonte, 150 mts. arriba  
Casa L - I 20  
Managua  
Telefax: (505) 244-2205  
E-mail: tecnosol@munditel.com.ni

TECSOL  
Managua  
Telefax: (505) 278-0940  
E-mail: tecsolsa@tmx.com.ni

Bombas de Mecate/ Aerobombas (AMEC)  
Luis Román  
Tel. : (505) 227-6935  
E-mail: amec@alianza.com.ni

## **COSTA RICA:**

NORDTECO S.A.  
Nórdica de Tecnología y Comercio  
Representación de VESTAS  
Apartado 631-1007  
Centro Colón, San José  
Tel: (506) 290- 8605, 231- 3628  
Fax: (506) 232 -8546

---

---

---

GJiménezS, consultores en energía  
Apartado 220 - 2010, San José  
Tel.: (506) 385 - 2365  
Fax: (506) 232 - 8546  
E-mail: jimenezs@sol.racsa.co.cr





## Consultores y Suplidores de Equipo en América Central

### INTERDINAMICA

Barrio Aranjuez  
San José  
Tel.: (506) 221-8333  
Fax: (506) 222-5241  
E-mail: [interdin@interdinamic.com](mailto:interdin@interdinamic.com)  
Web: <http://www.interdinamic.com>

### ENERCOS

Tel.: (506) 386 6559  
Fax: (506) 260 3641  
E-mail: [solelect@racsa.co.cr](mailto:solelect@racsa.co.cr)

### Energía Centroamérica S.A.

Apartado 799-1007  
San José  
Tel: (506) 232 02 27  
Fax: (506) 222 51 73

### Durman Esquivel

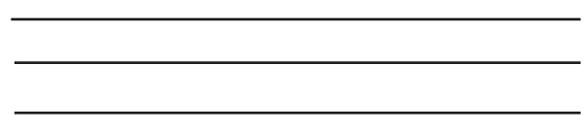
Tel.: (506) 212 5800  
Fax: (506) 256 7176  
E-mail: [lalvarez@grundfos.com](mailto:lalvarez@grundfos.com)

www.elsolucionario.org

### **PANAMÁ:**

#### SOLARPAN

Mall - P.O. Box 6-9569, El Dorado  
507 Ciudad de Panamá  
Av. Balboa  
Tel.: 507- 213-8060  
Fax : 507- 213-8062



#### PASS

Calle Ramón Arias, edificio Malina, planta baja  
Ciudad de Panamá  
Tel.: (507) 263-8797/8635  
Fax: (507) 263-8797  
E-mail: [pass@bellsouth.net.pa](mailto:pass@bellsouth.net.pa)  
Web: <http://www.panelsolar.com>

#### SOL ENERGY AS

Apartado 0819-11880, El Dorado  
Ciudad de Panamá  
Tel/fax: (507) 317-0732  
Cel: (507) 674-1511  
E-mail: [heine.aven@solenergy.com](mailto:heine.aven@solenergy.com)  
Web: [www.solenergy.com](http://www.solenergy.com)



## ANEXO 3. Conceptos Básicos de Energía



### 1. Energía y Potencia

La energía es parte de todos los ciclos de la vida y es un elemento esencial para prácticamente todas las actividades. Ella es un concepto que se relaciona con varios procesos (como quemar combustibles o propulsar máquinas), así como con las observaciones de dichos procesos. La energía se define científicamente como la capacidad de hacer trabajo.

#### Fuentes de energía

Existen diferentes fuentes de energía, las cuales se pueden clasificar en dos grupos:

- Fuentes renovables: no se agotan por su uso, como la energía del viento y del sol. El agua y la biomasa también se incluyen en esta categoría, aunque son renovables bajo la condición de que la fuente se maneje en forma apropiada, por ejemplo, las cuencas hidrológicas y plantaciones de árboles.
- Fuentes no-renovables: están disponibles en cantidades limitadas y se agotan por su uso, como los combustibles fósiles (carbón mineral, petróleo, gas natural). Estas tienen la característica de que, una vez utilizadas para la generación de energía, no se pueden volver a usar.

#### Formas de energía

La energía tiene diferentes formas, entre las cuales podemos citar las de mayor importancia:

- Energía cinética: la de un objeto en movimiento como por ejemplo, el agua de un río. La velocidad y masa del objeto determinan, en gran parte, la cantidad de su energía cinética. Cuanto más rápido fluye el agua, más energía estará disponible.
- Energía potencial: la de la posición de un objeto con respecto relativo a la tierra. Esta forma está almacenada y se convierte en energía cinética cuando el objeto se cae. Por ejemplo, el agua en un embalse tiene el potencial de caerse y, cuanto más alta la presa, más energía potencial contiene el agua.
- Energía térmica (calor): una forma de energía cinética causada por el movimiento de los átomos o las moléculas en un material, sea sólido, gaseoso o líquido. Su cantidad es determinada por la temperatura del material, entre más alta la temperatura, más energía está disponible. Por ejemplo, en la combustión de madera u otros materiales se genera calor.
- Energía química: la almacenada en átomos y moléculas; por ejemplo, en materiales combustibles y baterías (acumuladores).
- Energía eléctrica: más conocida como electricidad; es el flujo de los electrones en un material conductivo, como un cable eléctrico.
- Energía electromagnética (radiación): la que todos los objetos emiten en diferentes cantidades. La luz es una forma visible de radiación.
- Energía mecánica (o energía rotacional): la de rotación de un eje girando. Esta se produce, por ejemplo, en una turbina hidráulica propulsada por el agua.



## Transformación de energía

“Utilizar” la energía significa, transformar una forma de ella en otra. Por ejemplo, aprovechando la fuerza del viento, se convierte la energía cinética en mecánica, la cual, luego se puede convertir en eléctrica. Para obtener iluminación, se convierte la eléctrica en electromagnética o radiación. Igualmente, “generar” energía significa convertir una forma de ella en otra; por ejemplo, la cinética de agua en movimiento a mecánica, en un sistema hidráulico.

Los términos “utilizar” y “generar” energía científicamente no son correctos porque ella no se puede crear ni destruir. Se puede transformar de una forma a otra, pero no se “gasta” y su cantidad total se mantiene igual en cualquier proceso. Lo anterior es la base de la Primera ley de la termodinámica. Sin embargo, en términos prácticos sí se gasta la energía, debido a que se convierte en una forma que ya no se puede aprovechar. Por ejemplo, cuando se quema una rama seca, la energía química contenida en la madera se convierte en térmica, o sea, en calor, la cual se puede aprovechar; pero luego se dispersa en el ambiente y no se puede utilizar nuevamente.

## Oferta, demanda y consumo

En el análisis de la utilización de energía en el nivel nacional o sectorial se pueden distinguir tres conceptos:

- Oferta de energía: se requiere de ella para aplicaciones como iluminación, cocción, procesos industriales y transporte. La oferta energética puede ser diferente de un lugar a otro, dependiendo de condiciones locales como el clima y las costumbres, y según los diferentes tipos de usuarios (viviendas, industrias, transporte, etc). Se puede satisfacer una necesidad específica de energía con diferentes fuentes e, igualmente, no todas las necesidades se pueden satisfacer por falta de fuentes o presupuesto.
- Demanda por energía: necesidad de fuentes que puedan satisfacer las necesidades de energía. Depende de factores como población, nivel de desarrollo económico, disponibilidad de tecnología, etc. Igual a éstas, no siempre se puede satisfacer la demanda por energía.
- Consumo de energía: utilización real de fuentes; también llamada “demanda expresada”.

En todas las transformaciones de energía, se pierde una parte de ella debido a su conversión parcial en una forma que no se puede aprovechar, generalmente en calor. La fracción de la energía utilizable, como resultado de un proceso de conversión, y su insumo se llama la eficiencia del proceso, la cual, generalmente, se representa como un porcentaje. En fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{egreso de energía utilizable}}{\text{insumo de energía}} \times 100\%$$



## Conceptos Básicos de Energía

Cuanto más alta sea la eficiencia, menos energía se pierde. La siguiente tabla muestra eficiencias típicas para algunos procesos de conversión:

Eficiencias típicas de procesos de conversión energética

Equipo	Eficiencia típica (%)
Motor de diesel	30 - 45
Motor eléctrico	80 - 95
Turbina hidráulica	70 - 99
Bombillo eléctrico incandescente	5
Estufa de LPG	60 - 70
Estufa de leña	12 - 30

### Potencia

Este es un concepto muy relacionado con el de energía. Se define como la capacidad de suplir una cierta cantidad de energía durante un período de tiempo definido. Esto se ilustra así: cuando aplicamos un proceso de conversión de energía, estamos interesados en dos cosas:

- la cantidad de energía convertida, y
- la velocidad a cual se convierte. Esta velocidad se llama potencia (P), expresada como energía por segundo o, en fórmula, de la siguiente manera:

$$\text{energía} = \text{potencia} \times \text{tiempo} \quad \text{ó} \quad \text{potencia} = \frac{\text{energía}}{\text{tiempo}}$$

Por ejemplo, un tanque de gasolina de un vehículo contiene una cantidad dada de energía. Este se puede usar en un cierto período de tiempo, o sea, el proceso de combustión puede ser corto o largo. Cuanto más corto el período, más alta es la potencia. Este principio aplica para cualquier proceso de conversión de energía.

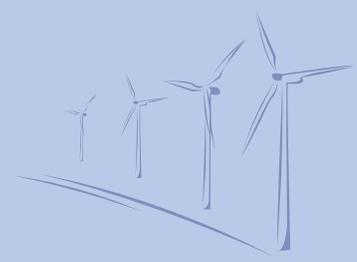
Si bien en lenguaje común estos términos se intercambian frecuentemente, cuando se habla técnicamente sobre un sistema de generación o utilización de energía es importante distinguirlos bien.

### Unidades de medición

Existen diferentes unidades aplicadas para la expresión cuantitativa de energía y potencia. La unidad científica y más usada para energía es el **Joule** (o julio, abreviado como J). Otras unidades usadas son, por ejemplo caloría, toneladas de carbón equivalente (TCE) y el British Thermal Unit (BTU). Existen factores específicos para convertir las diferentes unidades en otras.

La unidad para potencia es el **Watt** (o vatio, abreviado como W). Este es definido como 1 joule por segundo ("J/s"). Otra unidad que se usa frecuentemente es el caballo de fuerza (HP).

# Conceptos Básicos de Energía



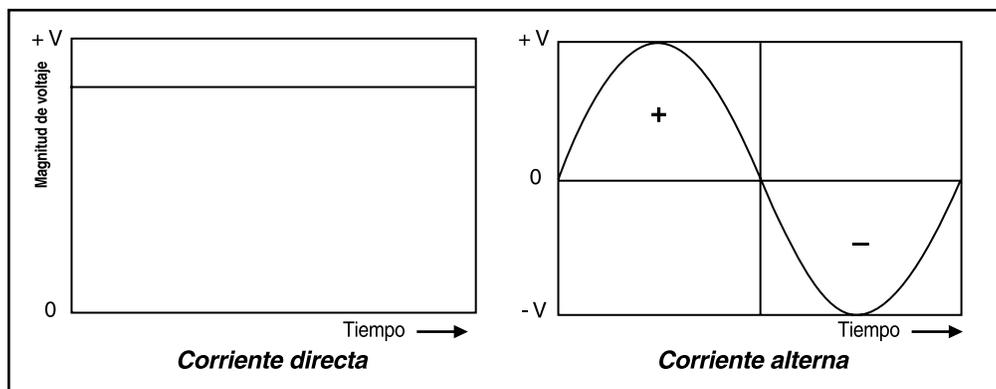
Un Joule y un Watt son medidas muy pequeñas comparadas con las cantidades transformadas en la mayoría de las aplicaciones energéticas. Por eso, se usan múltiplos de 1.000; por ejemplo, 1.000 watt es equivalente a 1 kilowatt o 1 kW. La siguiente tabla resume los prefijos y símbolos usados: Adicionalmente, se pueden agregar índices a una unidad para indicar la forma de energía o potencia. Por ejemplo, para la potencia de un equipo de convertir energía térmica se usa  $\text{kW}_{\text{th}}$ . Igualmente, la potencia eléctrica se indica como  $\text{kW}_{\text{el}}$  y, la potencia mecánica como  $\text{kW}_{\text{m}}$ .

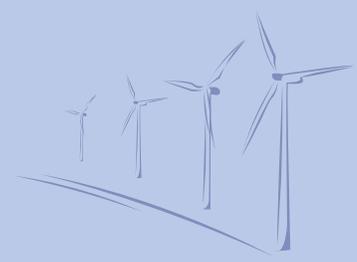
Símbolo	Prefijo	Multiplicador
k	kilo	1.000 ó $10^3$
M	mega	$10^6$
G	giga	$10^9$
T	tera	$10^{12}$

## 2. Electricidad

### Corriente eléctrica

El flujo de la energía eléctrica, o la electricidad, se llama corriente, cuya unidad de medida son los amperios (A). Para generar una corriente eléctrica a través de un cable es necesario tener una “diferencia de tensión” entre sus dos extremos (diferencia de potencial). Igualmente si se quiere hacer que el agua se mueva a través de un tubo, necesita tener una diferencia de presión entre los dos extremos del tubo. Si se dispone de una gran diferencia de tensión, pueden transportarse grandes cantidades de energía por segundo a través del cable; es decir, grandes cantidades de potencia. La tensión eléctrica es equivalente a voltaje, medido en voltios (V). La potencia eléctrica en watts es igual al voltaje multiplicado por el amperaje ( $P = V \times A$ ).





Los generadores eléctricos pueden producir dos tipos de corriente:

- Corriente directa (CD): donde la energía circula siempre en una única dirección, del punto positivo al negativo.
- Corriente alterna (CA): donde esta alterna continuamente su dirección en un patrón cíclico, en forma sinusoidal. Es causado por el ciclo sinusoidal del voltaje, con un pico positivo y uno negativo (véase la figura). Al número de ciclos por segundo se le llama frecuencia, expresado en hertz (Hz). En la red eléctrica, generalmente, es de 50 ó 60 Hz.

La corriente directa se utiliza sólo en sistemas de baja capacidad como, por ejemplo, baterías secas (pilas), baterías de vehículos y sistemas fotovoltaicos (de baja tensión). Sistemas grandes de alta tensión, como las centrales eléctricas, generan corriente alterna, la cual es suministrada a través de la red eléctrica a las viviendas y centros productivos. Una de las razones para el uso de la corriente alterna es que es más barato aumentar o disminuir su voltaje y, cuando se desea transportar a largas distancias, se tendrá una menor pérdida de energía si se utiliza la alta tensión. Con un inversor se puede transformar la corriente directa en alterna.

Para expresar la cantidad de energía eléctrica o electricidad, generalmente, se usa la unidad watt/hora (o vatio/hora, Wh). Un watt/hora es equivalente a la cantidad de energía convertida, durante una hora por un equipo con una potencia de 1 watt. Para sistemas de baja tensión, como los fotovoltaicos, también se puede expresar la energía eléctrica en amperios/hora (Ah), equivalentes a la generación o utilización de una corriente de 1 amperio durante una hora. Para baterías, generalmente se indica la capacidad de acumulación en amperios/hora. La relación entre las dos unidades de energía eléctrica es la siguiente:

$$\text{Wh} = \text{V} \cdot \text{Ah} \quad \text{donde V es la tensión o el voltaje del sistema}$$

## Factor de capacidad (factor de planta)

El factor de capacidad, o de planta, es un indicador para medir la productividad de una planta de generación eléctrica como, por ejemplo, una turbina eólica o un sistema hidroeléctrico. Este indicador compara su producción real, durante un período dado, con la cantidad que se habría producido si hubiese funcionado a plena capacidad en el mismo tiempo. En fórmula:

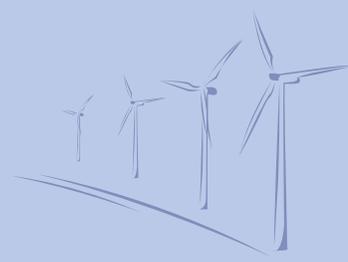
$$\text{Factor de capacidad} = \frac{\text{producción real}}{\text{producción teórica}} \times 100\%$$

Por ejemplo, un sistema de 1 kW, teóricamente, podría generar 8.760 kWh en un año<sup>2</sup>. Sin embargo, la planta no puede funcionar el 100% del tiempo, por razones de mantenimiento periódico, fallas técnicas o falta de combustible ó recurso renovable. Si la producción real de esta planta en un año dado fue de 6.000 kWh; entonces, el factor de capacidad para ese período sería de 68,5%.

## Demanda máxima

La demanda máxima representa para un instante dado, la máxima coincidencia de cargas eléctricas (motores, compresores, iluminación, equipo de refrigeración, etc.) operando al mismo tiempo, es decir, la demanda máxima corresponde a un valor instantáneo en el tiempo, medida en unidades de potencia. No es

<sup>2</sup> Energía=potencia x tiempo, entonces la energía generada sería 1kW x 24 horas/día x 365 días = 8,760 kWh



## Conceptos Básicos de Energía

igual encender una línea de motores al mismo tiempo que hacerlo en arranque escalonado. Los picos por demanda máxima se pueden controlar evitando el arranque y la operación simultánea de cargas eléctricas

### Factor de demanda

Es la razón entre la demanda máxima de la instalación o sistema y la carga total conectada, en un instante de tiempo determinado.

El factor de demanda máximo es igual a la razón de la demanda máxima en un instante dado, entre la potencia del sistema.

### Sistema interconectado de generación eléctrica

Se usan diferentes fuentes para la generación de electricidad, en América Central. Las principales son: la hidroeléctrica, la geotermia y los combustibles fósiles, como el diesel y el búnker.

Dentro del sistema interconectado nacional, la demanda varía, dependiendo de la hora del día, el día de la semana y, también, de la temporada. Para atender la demanda, se debe planificar la generación eléctrica por parte de las diferentes plantas del sistema, según las variaciones esperadas. Plantas de generación de base operan en forma continua para satisfacer una demanda mínima y generalmente, son las que tienen los costos de operación más bajos.

Para las horas de alto consumo, u “horas-pico”, se aplican generadores adicionales para aumentar la producción de electricidad. En el mercado de ocasión eléctrico, se pagan tarifas mayores en estas horas.

Para la compra-venta de energía eléctrica, frecuentemente se aplica el término “potencia firme” de una planta de generación dada. Esta se define como la potencia que el generador puede garantizar durante un periodo dado; por ejemplo, en las “horas-pico”, o todo el año. Los contratos de compra y venta de electricidad, generalmente, se establecen con base en la capacidad firme. Dado que las fuentes renovables dependen de los recursos naturales, la potencia firme puede ser considerablemente más baja que la capacidad instalada, lo cual desfavorece su competitividad en el mercado eléctrico, a diferencia de la generación con base en combustibles fósiles que puede operar ofreciendo “potencia firme” en cualquier momento, excepto en los tiempos de parada por mantenimiento.

#### Magnitudes de energía y potencia

##### *Energía:*

- 1 kWh Energía requerida para subir la temperatura de 1 litro de agua con 1 grado.
- 1 MWh Energía requerida para manejar 1 vehículo por 1.000 kilómetros.
- 4.7 TWh Electricidad consumida en un período de tiempo; por ejemplo, la electricidad en Guatemala en 1999.

##### *Potencia:*

- 1 kW Potencia de una placa de una estufa eléctrica.
- 10 kW Potencia de un pequeño tractor.
- 1 MW Potencia de una central eléctrica que suple electricidad a una comunidad de unas 20.000 personas.



## 1. Tipos de vientos

Los vientos que interactúan en el globo terrestre son: los geostróficos (globales) y los terrestres (locales).

### a. Vientos geostróficos (globales)

Estos vientos son generados, principalmente, por las diferencias de temperatura, presión y, muy poco, por la superficie terrestre. Se encuentran a una altura superior a los 1.000 metros sobre el nivel del suelo y su velocidad puede ser medida utilizando globos de sonda.

### b. Vientos terrestres (locales)

Estos vientos son mucho más influenciados por la superficie terrestre a altitudes de hasta 100 metros. Son frenados por la rugosidad de la superficie de la tierra y por los diferentes obstáculos que se encuentren en su recorrido. Sus direcciones cerca de la superficie serán ligeramente diferentes de las de los geostróficos debido a la rotación de la tierra.

Conocer el comportamiento de estos vientos es de gran importancia, ya que influyen en forma diferente en la producción de energía eólica siempre y cuando los globales sean menos intensos, ya que la dirección depende de la superposición de ambos vientos.

Teniendo esto en cuenta, los vientos terrestres o locales se clasifican en:

- Brisas marinas: durante el día la superficie terrestre se calienta más rápido que el mar, esto ocasiona que el aire que se encuentra en tal superficie se caliente y pierda densidad provocando que se eleve, dejando una diferencia de presión en la superficie. Luego de alcanzar cierta altura, el aire desciende al mar y, producto de la diferencia de presión causada es atraído el aire frío del mar.
- Brisas terrestres: en la brisa terrestre, la cual aparece al anochecer, ocurre el mismo proceso que en la marina, sólo que se invierte el sentido del flujo de aire, esto significa que el viento viaja de la superficie terrestre hacia el mar, ya que la tierra pierde el calor más rápido que el agua, disminuyendo, por consiguiente, la temperatura. Las velocidades de estos vientos son menores a los producidos en las brisas marinas, ya que en la noche existe una diferencia de temperatura menor que en el día entre la superficie terrestre y el mar.
- Vientos de montaña: un ejemplo de vientos de montaña son los de valle que se originan en las laderas, ya que miran hacia el sur (en el hemisferio norte) o hacia el norte (hemisferio sur). Durante el día, el aire caliente que se encuentra en las laderas pierde densidad elevándose hacia la cima y recorriendo toda la superficie de la ladera. En la noche se invierte el flujo del aire: de la cima hacia abajo, recorriendo la superficie de la ladera. Si el fondo del valle tiene cierta inclinación, el aire puede ascender y descender por el valle; a este efecto se le conoce como “viento de cañón”.

<sup>3</sup> Esta sección está basada en información obtenida de la Asociación Danesa de la Industria Eólica (sitio web <http://www.windpower.org>)



## 2. La energía en el viento

La energía en el viento es cinética. Su valor es el producto de la masa por 1/2 del cuadrado de la velocidad del viento "V". La masa contenida en una unidad de volumen [1 m<sup>3</sup>] de aire se define como la densidad  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] del aire. Entonces, la energía cinética por unidad de volumen (o sea la contenida en una unidad de volumen) es igual a:

$$e_c = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad [\text{J/m}^3]$$

El volumen que por segundo pasa a través de un área A [m<sup>2</sup>] normal a la dirección de la velocidad del viento es igual al producto AV [m<sup>3</sup>/s]. Entonces el flujo de energía por segundo, o sea, la potencia a través de un área A es igual a:

$$P = \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot V A = \frac{1}{2} \rho V^3 A \quad [\text{W}]$$

De esta manera la potencia del viento varía con el cubo (la tercera potencia) de su velocidad; por ejemplo, si ésta se duplica, la potencia contenida en el viento es  $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$  veces más alta.

Asimismo, la energía cinética del viento depende de la densidad del aire, es decir, de su masa por unidad de volumen. En otras palabras, cuanto "más pesado" sea el aire, más energía recibirá la turbina. A presión atmosférica normal y a 15 °C el aire pesa unos 1,225 kilogramos por metro cúbico, aunque la densidad disminuye ligeramente con el aumento de la humedad. Además, el aire es más denso cuando hace frío que cuando hace calor: a grandes altitudes (en las montañas) la presión es más baja y éste es menos denso.



Esta publicación se enmarca dentro de los esfuerzos llevados a cabo en la región de América Central por la Oficina Regional para Centroamérica de Biomass Users Network (BUN-CA) que ha ejecutado, en el período 2000 - 2002, la iniciativa regional "Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central" (FOCER), junto con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) como agencia de implementación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM o GEF).

La iniciativa FOCER tiene como objetivo la remoción de las barreras que enfrenta la energía renovable, a través del apoyo técnico y financiero a desarrolladores de proyectos, seminarios y talleres de capacitación y la asistencia a gobiernos en el desarrollo a políticas y regulaciones apropiadas para la energía renovable.

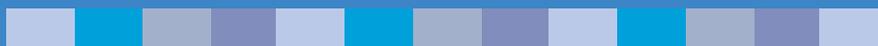
BUN-CA es una organización regional no gubernamental, que busca contribuir al desarrollo y fortalecimiento de la capacidad de América Central para aumentar su producción por medio del uso sostenible de los recursos naturales, como medio para mejorar la calidad de vida de sus habitantes, especialmente en las áreas rurales. El accionar de BUN-CA se enfoca en tres áreas temáticas: energía renovable, eficiencia energética y agricultura sostenible.

## Manuales sobre energía renovable

# EÓLICA



HIDRÁULICA A PEQUEÑA ESCALA • SOLAR FOTOVOLTAICA • EÓLICA • SOLAR TÉRMICA • BIOMASA



**FOCER** Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central

BUN- Centro América / Apartado Postal 573-2050 / San José, Costa Rica  
Tel. (506) 283-88-35 / Fax. (506) 283-8845  
Correo electrónico: [bun-ca@bun-ca.org](mailto:bun-ca@bun-ca.org) / [biomass@racsa.co.cr](mailto:biomass@racsa.co.cr)  
Sitio web: <http://www.bun-ca.org>