

# Conceptos básicos de energía eólica

Autor: Ing. Ernesto del Puerto  
ernesto.puerto@gmail.com  
Abril de 2018

## Índice

1.	Un poco de historia.....	4
2.	La temperatura terrestre .....	4
	Figura 2.1. La temperatura de la tierra.....	5
3.	La fuerza de coriolis .....	5
4.	Recursos eólicos: vientos globales .....	6
	Figura 4.1. La atmósfera de la tierra .....	7
5.	Recursos geostroficados.....	7
	Figura 5.1. Una imagen comparativa .....	8
6.	Wind profiles .....	8
	Figura 6.1. La función logarítmica para el wind profile .....	9
	Figura 6.2. La robustez de la superficie.....	11
	Figura 6.3. La robustez de la superficie, más casos .....	11
	Figura 6.4. La variación de la velocidad de los vientos a lo largo del día.....	12
7.	La estabilidad atmosférica.....	12
	Figura 7.1. La estabilidad atmosférica durante el día .....	13
	Figura 7.2. La estabilidad atmosférica durante la noche .....	14
	Figura 7.3. La velocidad y dirección del viento durante el día .....	14
	Figura 7.4. La velocidad y dirección del viento durante la noche .....	15
8.	Resource assesment (evaluación de los recursos).....	15
	Figura 8.1. Un ejemplo clásico de proyecto.....	16
	Figura 8.2. No usar interpolación lineal.....	17
9.	La metodología del Atlas del viento .....	18
	Figura 9.1. El uso de la metodología del Atlas del viento .....	19
	Figura 9.2. El uso de un modelo para corregir los obstáculos.....	20
	Figura 9.3. El modelo de aspereza del terreno.....	20
	Figura 9.4. El modelo para terreno montañoso.....	21
	Figura 9.5. El aumento de la velocidad del viento sobre una colina.....	22
	Figura 9.6. Observaciones como series en el tiempo .....	23
	Figura 9.7. La distribución estadística de Weibull .....	24
	Figura 9.8. La producción anual (AEP) de energía de una granja eólica .....	24
10.	Potencial de energía eólica en Argentina .....	24
11.	Algunas cifras del mundo .....	25
12.	Capacidad total instalada en Argentina.....	26
	Figura 12.1. La generación de energía eólica en Argentina .....	26
	Figura 12.2. Los parques eólicos de gran escala en Argentina.....	26

	Figura 12.3. Los parques eólicos en construcción en Argentina .....	27
	Figura 12.4. Los parques eólicos anunciados en Argentina .....	27
13.	El marco regulatorio en Argentina .....	27
	Figura 12.5. El parque eólico Rawson en Argentina .....	28
14.	La intensidad de los vientos en la Argentina.....	29
	Figura 14.1. La intensidad de los vientos en Argentina .....	29
15.	Turbulencia atmosférica .....	29
	Figura 15.1. La carga en una turbina debido a las turbulencias.....	30
	Figura 15.2. La causa de las turbulencias .....	31
	Figura 15.3. Las parcelas de aire de la atmósfera.....	32
	Figura 15.4. Las parcelas de aire de la atmósfera con representación de su temperatura .....	32
	Figura 15.5. El anemómetro de copa, también llamado veleta .....	33
	Figura 15.6. El anemómetro sonoro de tres ejes .....	34
	Figura 15.7. La velocidad del viento seriada en el tiempo .....	35
16.	La regulación en Argentina.....	35
17.	Productos comercializados en Argentina.....	35
	Figura 17.1. La turbina marca Skystream modelo 3.7 .....	36
	Figura 17.2. Una vista posterior de la turbina Skystream 3.7 .....	37
	Figura 17.3. Diagramas de la turbina Skystream 3.7 .....	38
	Figura 17.4. Especificaciones técnicas de la turbina Skystream 3.7 .....	39
18.	Wind resources.....	39
	Figura 18.1. Wind resources en Europa .....	40
19.	El negocio mundial de energía eólica.....	40
	Figura 19.1. Capacidad total instalada .....	41
	Figura 19.2. Capacidad nueva instalada .....	41
20.	Abreviaturas usadas en EO .....	42
21.	RENOVAR.....	42
	Figura 20.1. Renovar 1,5 eólica y solar FV.....	42
	Figura 20.2. Renovar 1,5 proyectos adjudicados.....	43
	Figura 20.3. Metas de inversión del Ministerio de Minería en renovables .....	43
	Tabla 20.1. Detalle de los proyectos adjudicados para energía eólica en RENOVAR 1,5 .....	44
22.	Bibliografía .....	45

## 1. Un poco de historia

“First, there is the power of wing, constantly exerted over the globe ... Here is an almost incalculable power at our disposal, yet how trifling the use we take of it”. Henry David Thoreau. 1834.

El concepto vertido por H. D. Thoreau muestra que ya dos siglos atrás se pensaba en la importancia de la energía del viento y cómo deberíamos aprovecharla.

Voy a hacer una traducción al español sobre la idea.

Primero, tenemos el poder del viento, constante sobre la Tierra... Es un incalculable poder a nuestro alcance, veamos como sabemos aprovecharlo.

La energía del viento ha sido explotada durante 200 años.

Las aplicaciones más antiguas de la energía contenida en el viento fueron el uso de los molinos para extraer agua, u obtener harina a partir de los diferentes granos - como el trigo – y otras aplicaciones agrícolas.

En tiempos recientes, se ha usado la energía del viento para obtener energía eléctrica.

La industria de la energía eólica floreció en el mundo en los años 1970s, luego de la crisis mundial del petróleo.

Ello se logró con una gran inversión para la investigación sobre el tema en países como EEUU, Dinamarca y Alemania.

En los años 1980s, disminuyó considerablemente en los EEUU el flujo de dinero para proyectos de investigación en el tema de energías sustentables, lo que hizo que en ese país la industria de energía eólica se estancara.

Pero no fue así en Europa.

Europa lidera en término de tecnología y en capacidad instalada.

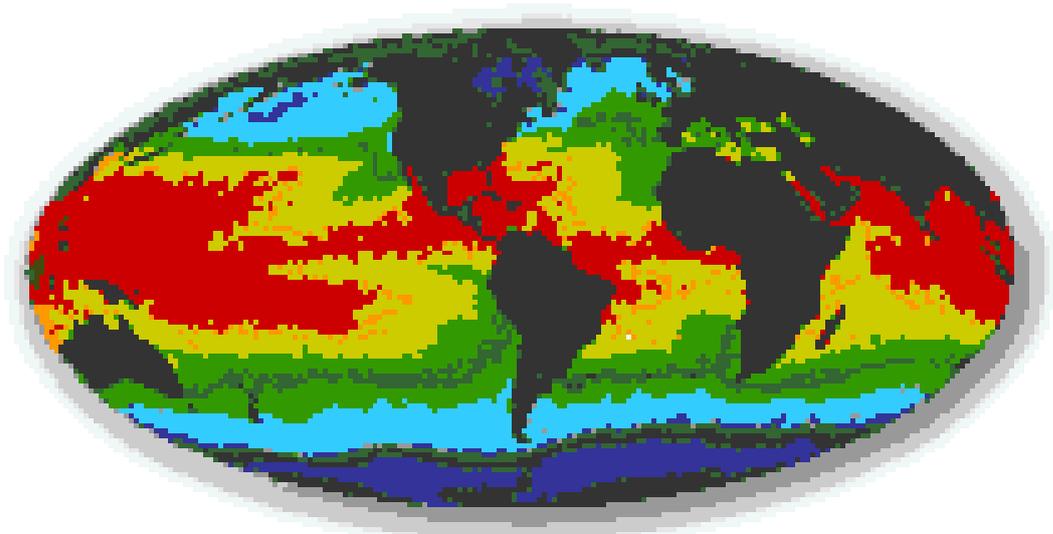
A principio de los años 2000s, las instalaciones eólicas de los EEUU, China e India tuvieron in crecimiento importante.

## 2. La temperatura terrestre

Las diferencias de temperaturas que se generan en la Tierra, son las que generan la circulación del aire.

Las regiones alrededor del ecuador, a 0° de latitud, son calentadas por el sol más que las zonas del resto del globo.

Estas áreas calientes, en la figura 2.1, están indicadas en colores cálidos, rojo, naranja y amarillo, en esta imagen de rayos infrarrojos de la superficie del mar (tomada de un satélite de la NASA, NOAA-7, en julio de 1984).



© 1998 www.WINDPOWER.org

### Figura 2.1. La temperatura de la tierra

El aire caliente es más ligero que el aire frío, por lo que subirá hasta alcanzar una altura aproximada de 10 km y se extenderá hacia el norte y hacia el sur.

Si la Tierra no rotase, el aire simplemente llegaría al Polo Norte y al Polo Sur, para posteriormente descender y volver al ecuador

La potencia emitida por el Sol sobre la superficie de la esfera que tiene al Sol como su centro y el radio promedio de la trayectoria terrestre es de 1,37 kW/m.

La potencia incide sobre un disco circular con un área de  $1,27 \times 10^{14} \text{ m}^2$ .

La potencia emitida a la Tierra es, por tanto, de  $1,74 \times 10^{17} \text{ W}$ .

En promedio, la producción primaria neta de las plantas está alrededor de  $4,95 \times 10^6$  calorías por metro cuadrado y por año.

Esto la producción primaria neta global, es decir, la cantidad de energía disponible en todos los posteriores eslabones de la cadena alimenticia/energética.

El área de la superficie de la Tierra es de  $5,09 \times 10^{14} \text{ m}^2$ .

Así pues, la cantidad de potencia neta almacenada por las plantas es de  $1,91 \times 10^{13} \text{ W}$ , lo cual equivale al 0,011% de la potencia emitida a la Tierra.

### 3. La fuerza de coriolis

Debido a la rotación de la tierra, cualquier movimiento en el hemisferio norte es desviado hacia la derecha, si se mira desde nuestra posición en el suelo (en el hemisferio sur es desviado hacia la izquierda).

Esta aparente fuerza de curvatura es conocida como fuerza de Coriolis (debido al matemático francés Gustave Gaspard Coriolis 1792-1843).

La fuerza de Coriolis es un fenómeno visible.

Las vías del ferrocarril se desgastan más rápidamente de un lado que del otro.

Las cuencas de los ríos están excavadas más profundamente en una cara que en la otra (de cual se trate depende en qué hemisferio nos encontremos, en el hemisferio norte las partículas sueltas son desviadas hacia la derecha).

En el hemisferio norte el viento tiende a girar en el sentido contrario al de las agujas del reloj (visto desde arriba) cuando se acerca a un área de bajas presiones.

En el hemisferio sur el viento gira en el sentido de las agujas del reloj alrededor de áreas de bajas presiones.

La fuerza de Coriolis afecta a las direcciones del viento en el globo.

#### 4. Recursos eólicos: vientos globales

Analicemos como la fuerza de Coriolis afecta a los vientos.

El viento sube desde el ecuador y se desplaza hacia el norte y hacia el sur en las capas más altas de la atmósfera.

Alrededor de los 30° de latitud en ambos hemisferios la fuerza de Coriolis evita que el viento se desplace más allá.

En esa latitud se encuentra un área de altas presiones, por lo que el aire empieza a descender de nuevo.

Cuando el viento suba desde el ecuador habrá un área de bajas presiones cerca del nivel del suelo atrayendo los vientos del norte y del sur.

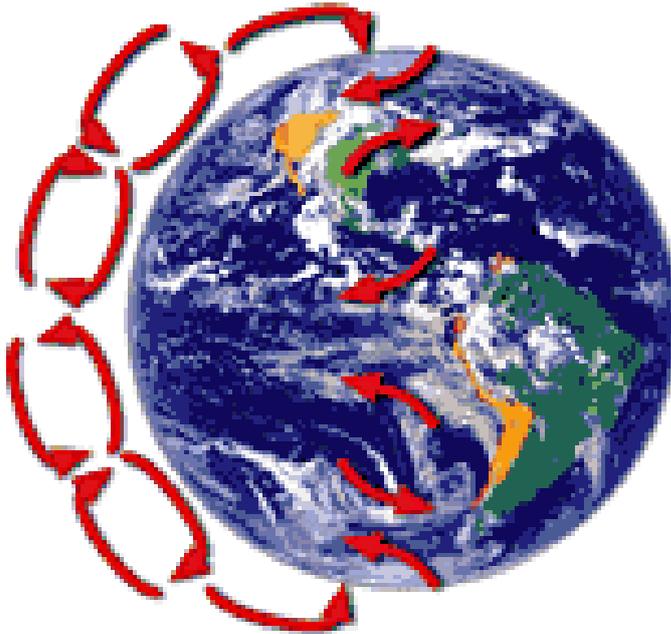
En los polos, habrá altas presiones debido al aire frío.

Teniendo en mente la fuerza de curvatura de la fuerza de Coriolis, obtenemos los siguientes resultados generales de las direcciones del viento dominantes:

Latitud	90 - 60 N	60 - 30 N	30 - 0 N	0 - 30 S	30 - 60 S	60 - 90 S
Dirección	NE	SO	NE	SE	NO	SE

El espesor de la atmósfera está exagerado en el dibujo de la figura 4.1, (hecho a partir de una fotografía tomada desde el satélite de la NASA GOES-8).

Realmente la atmósfera tiene un espesor de sólo 10 km, lo que representa 1/1200 del diámetro del globo.



© 1998 www.WINDPOWER.org

#### Figura 4.1. La atmósfera de la tierra

Esta parte de la atmósfera, conocida con el nombre de troposfera, es donde ocurren todos los fenómenos meteorológicos (y también el efecto invernadero).

Las direcciones dominantes del viento son importantes para el emplazamiento de un aerogenerador, ya que obviamente queremos situarlo en un lugar en el que haya el mínimo número de obstáculos posibles para las direcciones dominantes del viento.

Sin embargo, la geografía local puede influenciar en los resultados de la tabla anterior.

### 5. Recursos geostróficos

La atmósfera (Tropósfera) es una capa muy fina alrededor del globo terrestre.

El globo tiene un diámetro de 12.000 km.

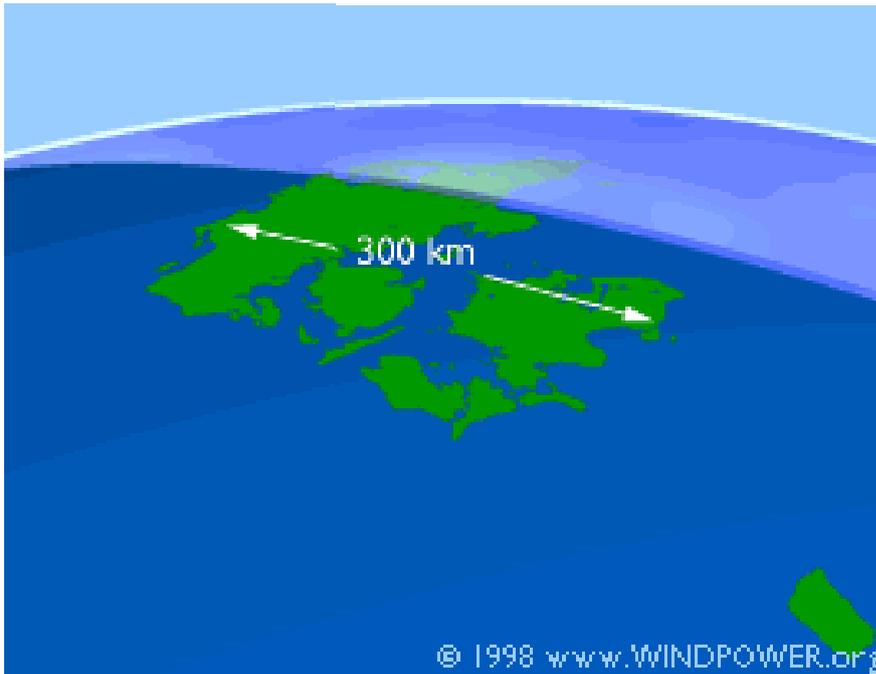
La troposfera, que se extiende hasta los 11 km de altitud, es donde tienen lugar todos los fenómenos meteorológicos y el efecto invernadero.

En el dibujo de la figura 5.1, puede verse una extensión de islas de 300 km y la altura aproximada de la troposfera.

Visto a una escala diferente: si el globo fuese una bola de 1,2 metros de diámetro, la atmósfera sólo tendría un espesor de 1 mm.

Los vientos que han sido considerados previamente en el texto, como **vientos globales** son en realidad los **vientos geostróficos**.

Los vientos geostróficos son generados, principalmente, por las diferencias de temperatura, así como por las de presión, y apenas son influenciados por la superficie de la tierra.



**Figura 5.1. Una imagen comparativa**

### **El viento geostrofico**

Los vientos geostroficos se encuentran a una altura de 1.000 metros a partir del nivel del suelo.

La velocidad de los vientos geostroficos puede ser medida utilizando globos sonda.

### **Vientos de superficie**

Los vientos están mucho más influenciados por la superficie terrestre a altitudes de hasta 100 metros.

El viento es frenado por la rugosidad de la superficie de la tierra y por los obstáculos.

Las direcciones del viento cerca de la superficie serán ligeramente diferentes de las de los vientos geostroficos debido a la rotación de la tierra (Coriolis).

Tratándose de energía eólica interesará conocer los vientos de superficie y cómo calcular la energía aprovechable del viento.

## **6. Wind profiles**

Analicemos los wind profiles (utilizo el término en inglés porque tiene posibles múltiples traducciones todas válidas) y como ellos se observan en la atmósfera.

Es decir, trataremos de explicar la física y la teoría del comportamiento de los wind profiles.

Veremos que existen diferencias entre los wind profiles del día con los de la noche.

Analicemos primero la teoría.

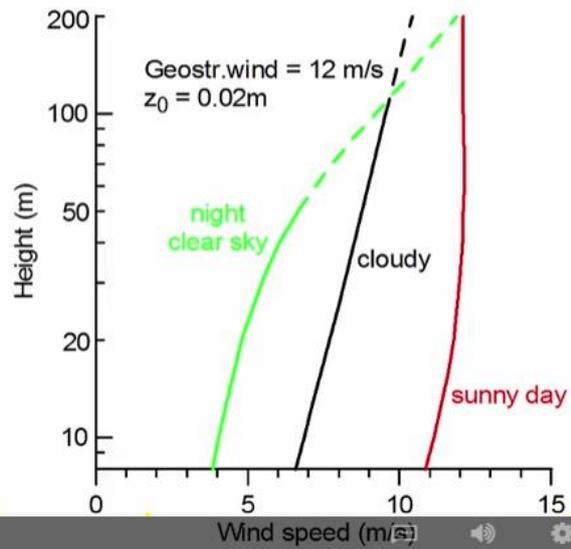
La forma más simple desde el punto de vista teórico es la llamada wind profile logarítmica.

La misma se detalla en la figura 6.1.

## Vertical profiles of mean wind speed

$$U(z) = \frac{u_*}{\kappa} \left( \ln \frac{z}{z_0} - \Psi \right)$$

$U$ :	wind speed
$z$ :	height
$z_0$ :	roughness length
$u_*$ :	friction velocity
$\kappa$ :	von Kármán constant (~0.4)
$\Psi$ :	atmospheric stability function
$\Psi > 0$ :	day
$\Psi < 0$ :	night



**Figura 6.1. La función logarítmica para el wind profile**

La velocidad del viento es una función de la altura, representada en la fórmula por  $Z$ .

Es también una función de  $u_*$ , que es un **flujo de impulso** que denominamos **velocidad de fricción**.

Es además función de  $\Psi$ , que llamamos la función de **estabilidad**.

En condiciones normales, neutras, la **función de estabilidad atmosférica  $\Psi$** , vale 0 (cero).

En ese caso diremos tendremos un profile logarítmico puro.

Una condición de  $\Psi = 0$ , es decir con condiciones normales o neutras, significa que no hay flujo calórico desde la superficie, por lo que corresponderán a pronósticos de condiciones con altas velocidades de los vientos.

A la derecha de la figura 6.1, observamos un ejemplo de wind profiles, simplemente graficando la fórmula analizada.

El ejemplo corresponde a un viento geostrófico, con una velocidad de 12 m/seg a una altura cercana a la superficie de la tierra a aproximadamente una altura de 1 Km.

Su característica es que el viento varía mucho cerca de la superficie durante el día y la noche.

La curva de color negro en la figura 5.1, corresponde a un wind profile neutro y, su representación en el gráfico (cuyo eje de ordenadas está en escala logarítmica) es evidentemente una línea recta.

Durante la noche es difícil que la energía llegue a la superficie de la tierra.

Debido, por lo tanto, a la reducción del flujo de impulso, la velocidad del viento se reduce cerca de la superficie terrestre.

Ese caso, lo observamos representado en la curva de color verde en la figura 6.1.

En la misma podemos además, observar que si bien la velocidad del viento es baja cerca de la superficie crece considerablemente con la altura.

A una altura de aproximadamente 100 metros puede inclusive superar la velocidad del profile neutro (curva negra).

Durante el día hay una mejor conexión con el viento geostrófico.

Tenemos mayor velocidad del viento durante el día que durante la noche, tal como se observa en la línea roja de la figura 6.1.

También podemos observar en la mencionada curva que la velocidad del viento varía poco con la altura.

Otro de los parámetros de la fórmula que analizamos en la figura 6.1, es  $z_0$ , que llamamos **longitud de rugosidad (roughness length)**.

Analicemos algunos ejemplos de la rugosidad de la superficie, que representa las condiciones las diferentes clases de superficies y como ello afecta a los vientos.

Un caso podría ser una superficie marina, donde sus condiciones son de un impacto muy bajo, por ejemplo con  $z_0 = 0,0002 \text{ m}$ .

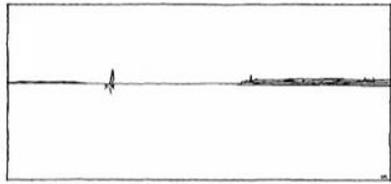
Este y más ejemplos observamos en la figura 6.2.

Adicionalmente en la figura 6.3, tenemos valores adicionales de la longitud de la robustez de la superficie.

Podemos analizar los mismos y sacar conclusiones

Adicionalmente podemos observar, como se muestra en la figura 6.4, la variación de la velocidad de los vientos a lo largo del día y la noche.

## Roughness length



$z_0=0.0002$  m (sea, fjords and lakes)



$z_0=0.03$  m (open areas with few bushes and trees)



$z_0=0.1$  m (farm land with bushes and trees)



$z_0=0.4$  m (urban, forest and farm land with many wind breaks)

Figura 6.2. La robustez de la superficie

## Roughness length

$Z_0$ [m]	Terrain surface characteristics (land use)
1.50	Sparse forest
1.00	City
0.80	Dense forest
0.50	Suburbs
0.40	Shelter belts
0.20	Many trees and/or bushes
0.10	Farmland with closed appearance
0.05	Farmland with open appearance
0.03	Farmland with very few buildings/trees
0.02	Airport areas with some buildings and trees
0.01	Airport runway areas
0.008	Mown grass
0.005	Bare soil (smooth)
0.001	Snow surfaces (smooth)
0.0003	Sand surfaces (smooth)
0.0002	Water areas (lakes, fjords, open sea)

Figura 6.3. La robustez de la superficie, más casos

# Diurnal wind variability

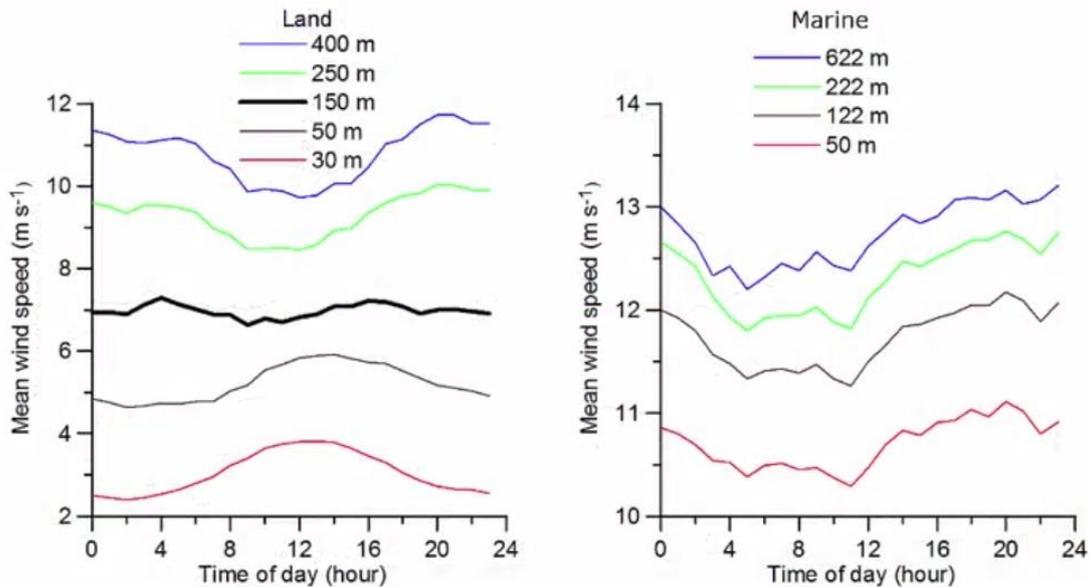


Figura 6.4. La variación de la velocidad de los vientos a lo largo del día

## 7. La estabilidad atmosférica

Todo lo que estuvimos analizando generalmente está controlada por lo que llamaremos la estabilidad atmosférica.

Por ejemplo es característico que cuando está brillando el sol, se calienta la superficie de la tierra, pero ello también genera movimientos en el aire.

El aire se hace, entonces, más liviano y se forman remolinos de viento.

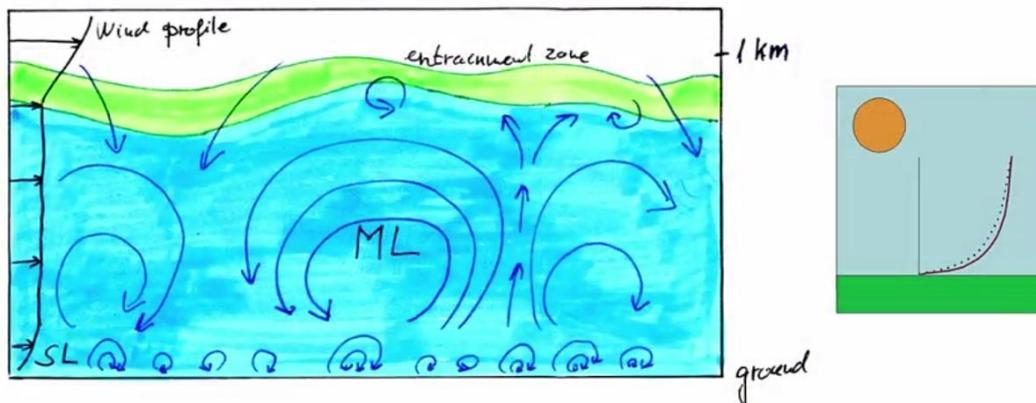
Cerca de la superficie de la tierra, dichos remolinos son pequeños.

Lo mencionado figura graficado en la figura 7.1.

Dichos remolinos de viento también transportan calor hacia arriba.

Durante el día dicho transporte sube cada vez más y en determinado momento dichos molinos de viento van creciendo en tamaño, tal como se observa en la figura 7.1.

## Atmospheric stability - day



**Figura 7.1. La estabilidad atmosférica durante el día**

En la parte superior de la figura 6.1, observamos una zona que llamaremos **zona de arrastre (entrainment zone)**, que posee un determinado espesor que puede oscilar entre un 10% y un 20%, o aún más en la mañana, de la llamada **capa del entorno (boundary layer)**.

Si observamos en la parte izquierda de la figura 6.1, podemos observar el wind profile para sacar conclusiones de cómo evoluciona la velocidad del viento en cada una de las zonas mencionadas.

Durante la noche es diferente.

Para analizarlo, veamos la figura 7.2.

Podemos comprenderlo a partir de lo expuesto.

Adicionalmente en la mencionada figura 7.2, observamos a su derecha los valores de la temperatura en una línea de color verde.

Por lo tanto veamos algunos wind profiles (los podríamos llamar comportamiento del viento) en diferentes momentos del día.

Por ejemplo, en la figura 7.3, observamos cómo varían la velocidad y la dirección del viento con la altura.

Lo que observamos en la misma es totalmente diferente si se tratara de la noche.

## Atmospheric stability - night

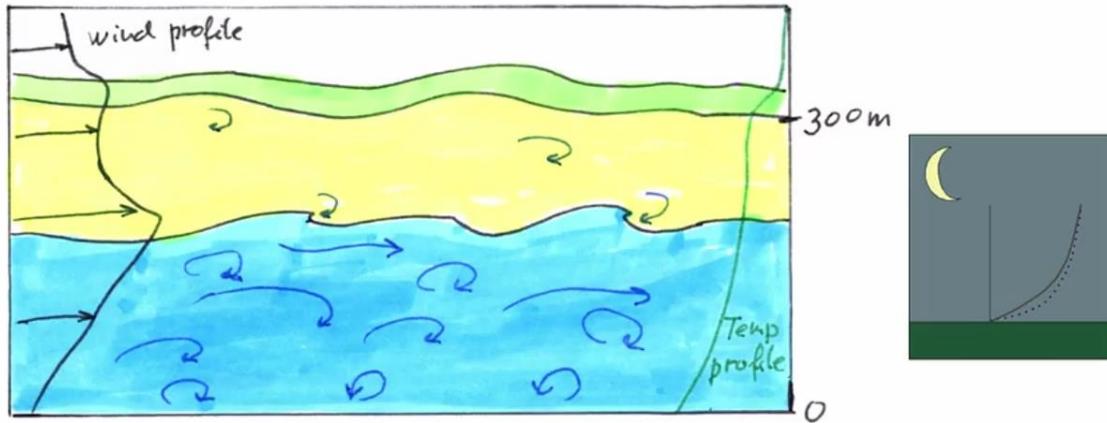


Figura 7.2. La estabilidad atmosférica durante la noche

## Wind speed and direction varies with height - day

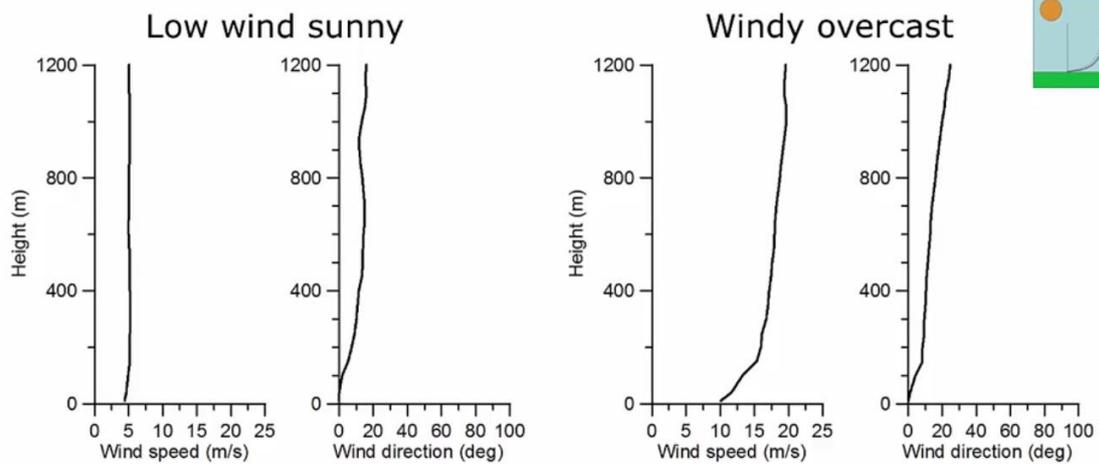
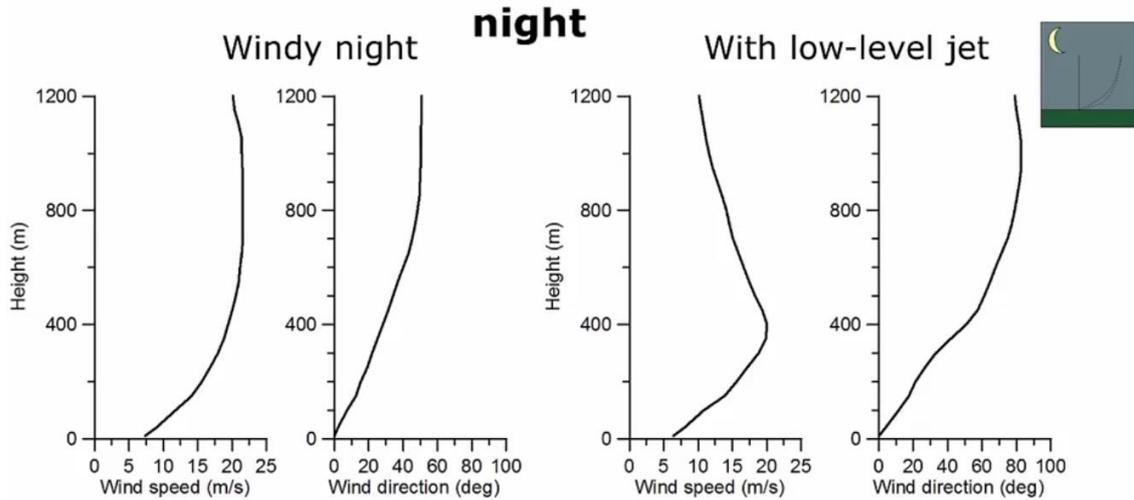


Figura 7.3. La velocidad y dirección del viento durante el día

Lo mencionado podemos observarlo en la figura 7.4.

## Wind speed and direction varies with height



**Figura 7.4. La velocidad y dirección del viento durante la noche**

De manera que, a modo de resumen podemos decir el comportamiento de del viento sigue una ley logarítmica a velocidades altas del mismo.

Que la velocidad del viento depende de la rugosidad de la superficie.

Que difiere durante el día ay la noche.

Pero lo que analizamos está considerando simplificaciones, ya que por ejemplo la velocidad del viento también depende del gradiente de temperatura horizontal en la atmósfera.

### 8. Resource assesment (evaluación de los recursos)

La evaluación de los recursos de viento significa, básicamente, cuanta energía eléctrica podemos obtener del viento utilizando una turbina eólica.

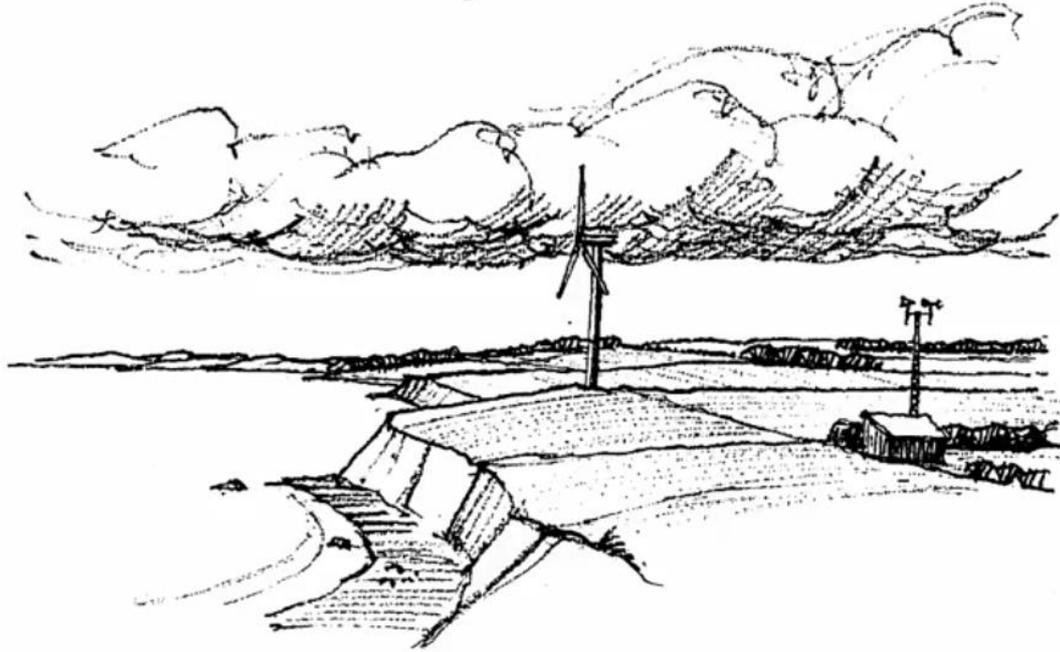
Para ello deberemos analizar la metodología a usar con un atlas de viento.

Y deberemos hacerlo sobre los diferentes tipos de terrenos y ver como éstos influyen sobre la velocidad del viento.

Analicemos el esquema de la figura 8.1.

A la derecha de la misma, observamos, por encima de la casa un medidor de la velocidad del viento.

# The classic problem



## Figura 8.1. Un ejemplo clásico de proyecto

Se trata de un clásico anemómetro.

Con el mismo queremos hacer mediciones y, queremos colocar una turbina eólica.

O ya la tenemos, pero tenemos en el caso que estamos analizando un terreno un poco complicado.

Analicemos el mismo.

A la izquierda tenemos agua, playa.

Tenemos luego hacia el lado opuesto una elevación del terreno tipo acantilado y debemos colocar la turbina en algún lugar.

Por lo que la pregunta será como debemos realizar esto.

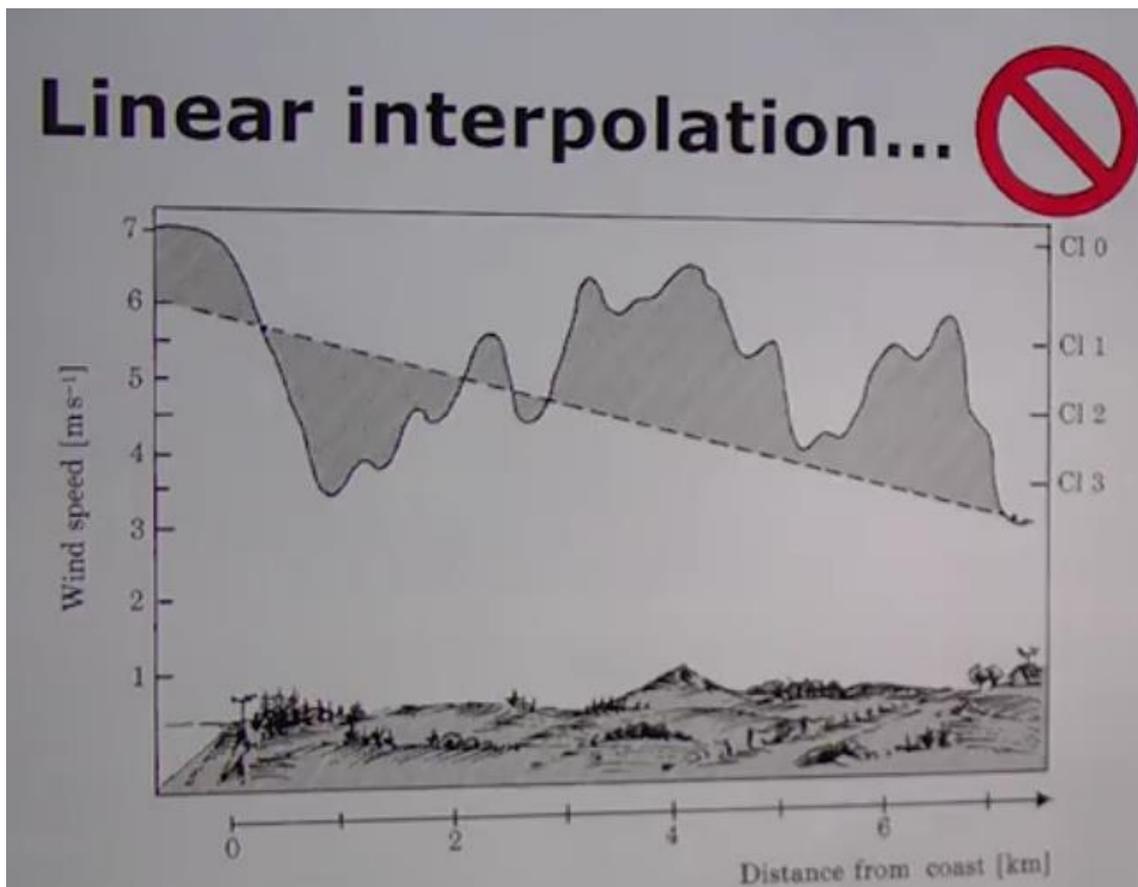
Queremos usar las mediciones.

En el esquema de la figura 8.1, observamos el mástil de la turbina en una posible ubicación

En la posición del terreno donde está ubicado el anemómetro tendremos con seguridad una buena recolección de datos acerca de la velocidad del viento.

Pero la pregunta, obviamente es, cómo será la misma donde está ubicado el mástil de la turbina.

Ampliamos un poco el esquema, tal como se detalla en la figura 8.2.



**Figura 8.2. No usar interpolación lineal**

En la misma se observa a la izquierda, sobre la casa un anemómetro.

Es el mismo de la figura 8.1, ubicado cerca de la costa.

Entrando más hacia adentro del terreno, sobre el techo de la casa de la derecha de la figura 8.2, tenemos un segundo anemómetro.

En esos dos puntos la medición de la velocidad del viento será perfecta, pero la pregunta es que pasa en el medio.

Podemos sacar algunas conclusiones y realizar observaciones si analizamos un poco más la figura 8.2.

El anemómetro de la izquierda nos marca una velocidad del viento de aproximadamente 6,5 m/seg, lo cual es lógico porque está cerca del mar.

El de la derecha un poco más de 3 m/seg, lo cual también es lógico porque está más alejado del mar.

Podríamos marcar esos dos valores en un gráfico representado por la línea de puntos de la figura 8.2.

En la misma observamos que el eje de las abscisas representamos la distancia desde donde queremos colocar la torre de la turbina, hacia la derecha de dicha posición.

La unidad de la misma es Km (de distancia de la costa en este caso).

En el eje de las ordenadas representamos la velocidad del viento en m/seg.

Podríamos marcar en ese gráfico los dos puntos de velocidad obtenidos por los dos anemómetros y realizar una interpolación lineal.

Parecería lo lógico ya que esas mediciones son ambas precisa.

Pero es lo peor que podíamos hacer.

En la figura 8.2, hemos representado la curva (el wind profile) de la velocidad del viento real como consecuencia del terreno, para tratar de entender el problema.

En el esquema observamos que el tipo de terreno es el de un bosque.

Ya sabemos que cuando estamos en presencia de un bosque la velocidad del viento baja, debido a la alta robustez de ese tipo de terreno.

Luego a aproximadamente 4 Km de la costa tenemos una colina donde, por el mismo concepto de robustez, la velocidad del viento aumenta.

Luego viene la casa, donde se presenta un caso de **sheltering effect (efecto refugio)**, que con el mismo concepto de robustez la velocidad del viento es un poco menor.

En el seguimiento de este esquema simple podemos observar como varía el wind profile de acuerdo al tipo de territorio.

## 9. La metodología del Atlas del viento

Cuando usamos la metodología del Atlas del viento, usamos la idea de que nos basamos en mediciones reales.

Pero se ha desarrollado una manera que nos permita cambiar.

Por ejemplo, podremos transferir las mediciones de un lugar meteorológico a otro lugar, donde queramos poner la turbina.

## Wind Atlas Analysis And Application Program (WAsP)

### Analysis (upward):

Observed Wind Climate, obstacles, roughness, terrain elevation

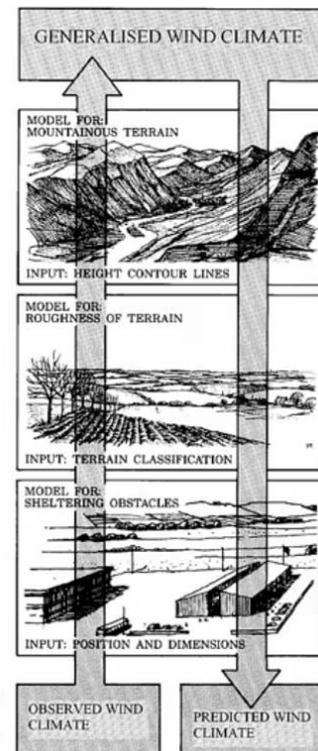
→ Generalized Wind Climate

### Application (downward):

Generalized Wind Climate, terrain elevation, roughness, obstacles

→ Predicted Wind Climate

Troen & Petersen, 1989:  
European Wind Atlas



**Figura 9.1. El uso de la metodología del Atlas del viento**

Tratemos de entender el concepto analizando la figura 9.1.

Pensemos para seguir el razonamiento que las mediciones meteorológicas se realizan cerca de una casa.

La metodología consta de dos fases, la primera la de **análisis** (hacia arriba en el esquema de la figura 9.1).

Partimos del **clima del viento observado (observed wind climate)**.

Y pasamos por los obstáculos, la rugosidad del terreno y la elevación del terreno para llegar a la **generalización del clima del viento (generalised wind climate)**.

La segunda fase, la de la **aplicación (application)** de arriba hacia abajo en el esquema de la figura 9.1.

Pasamos nuevamente en sentido inverso por la elevación del terreno, la robustez y los obstáculos.

En todos los casos realizamos las compensaciones correspondientes.

Cuando finalizamos la primera fase, al obtener la generalización del clima del viento estamos imaginando, luego de aplicar las compensaciones que correspondan, como si todo ocurriera en un tipo de terreno plano con una determinada longitud de robustez que podremos especificar.

En cada caso debemos utilizar un modelo.

## Model for sheltering obstacles

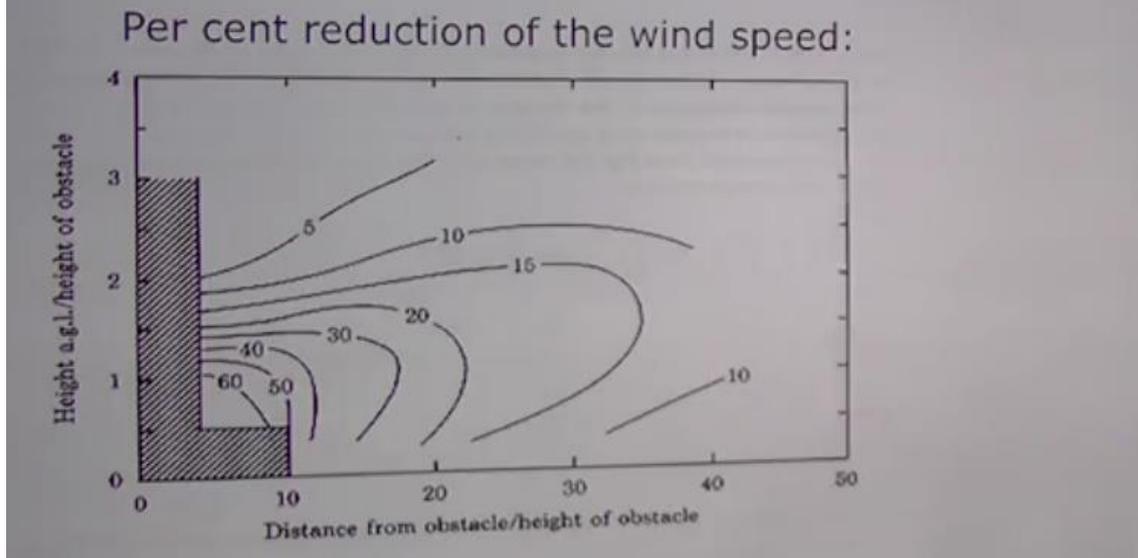
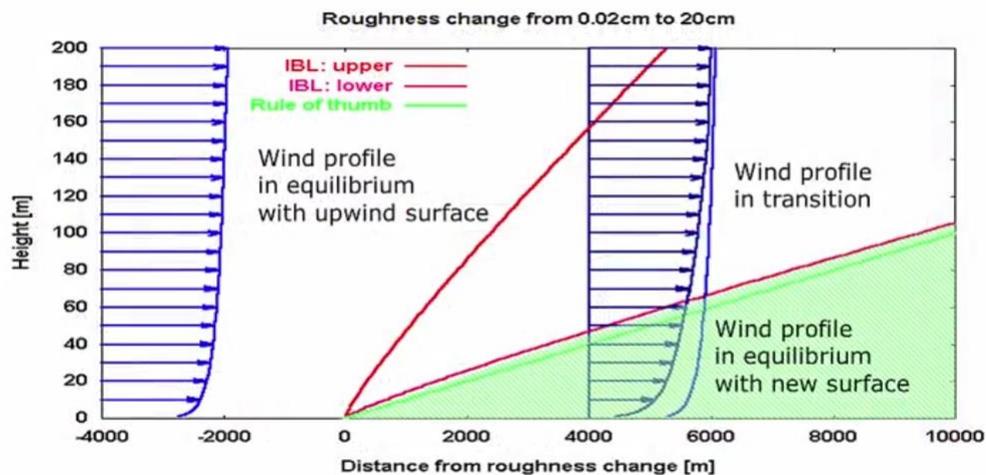


Figura 9.2. El uso de un modelo para corregir los obstáculos

Por ejemplo, en la figura 9.2, observamos uno para corregir el impacto de los obstáculos

## Model for roughness of the terrain



IBL: internal boundary layer

Figura 9.3. El modelo de aspereza del terreno

En este caso es un modelo parametrizado.

En el mismo podemos observar un impacto del 50% cerca del edificio.

Otro modelo que podemos utilizar en la metodología es el que observamos en la figura 9.3, el modelo de la aspereza del terreno

Podemos analizarlo, por ejemplo, cuando el viento va desde el mar hacia la tierra.

En ese caso hay cambios en la turbulencia y en la velocidad.

A la izquierda de la figura 8.3, tenemos el viento (wind profile) sobre el mar, casi sin variaciones con la altura.

En el eje horizontal del gráfico de la figura 8.3, indica con 0 m, un punto donde comienza un terreno con cierta aspereza.

En el ejemplo la aspereza varía de 0,02 cm a 20 cm.

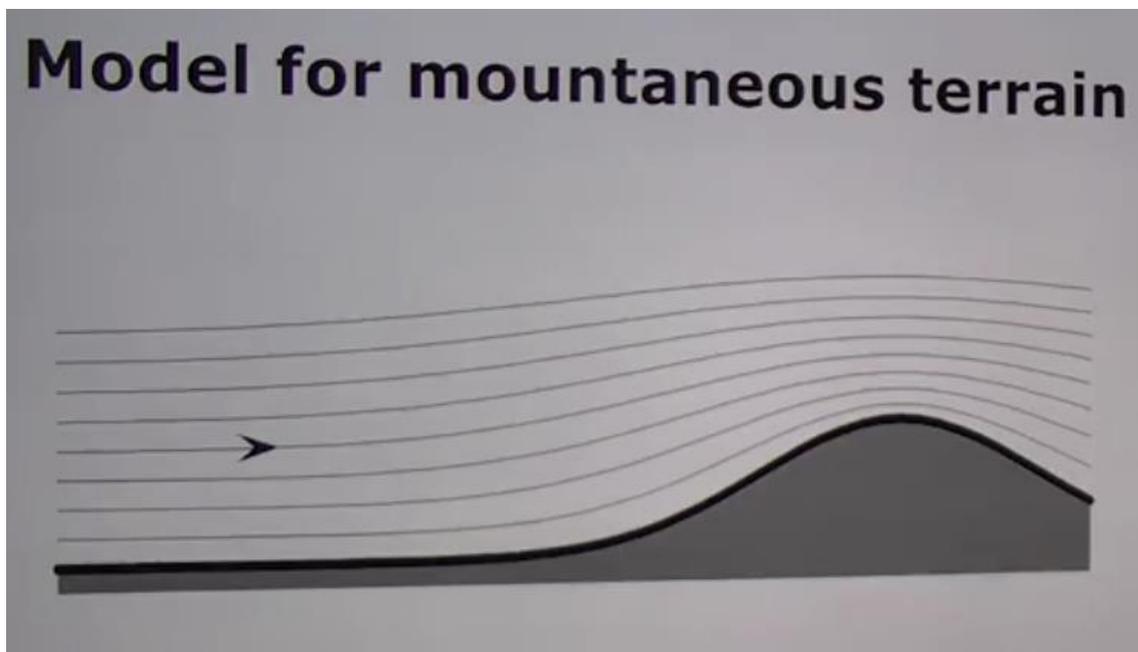
El área verde del gráfico muestra un área donde la velocidad del viento está en equilibrio con una nueva superficie, así como también la turbulencia.

En dicha área la altura crece hasta los 100 m desde 0 m.

Por encima de dicha área tenemos una zona donde el wind profile está en transición, lo que significa que parcialmente refleja las condiciones del agua y parte las de la superficie.

Por lo que en este caso, podemos interpolar entre las dos.

Por encima del límite de esta zona el wind profile es como en el agua.



**Figura 9.4. El modelo para terreno montañoso**

Podríamos tener que analizar que ocurre cuando el viento se desplaza a lo largo de un terreno plano y se encuentra con una colina, como se observa en la figura 9.4.

Observamos, que las líneas de flujo se comprimen por encima de la colina, por razones de continuidad.

Por ello la velocidad del viento aumentará por encima de la colina.

Lo expresado lo observamos en la figura 9.5.

En la figura 8.6, observamos un caso real de Dinamarca.

Tenemos dos ejemplos de terreno, en la misma.

También podemos observar las variaciones a lo largo del día.

La misma representa un día específico.

Cuando hacemos los cálculos, generalmente no utilizamos mediciones individuales.

## Speed-up over hills

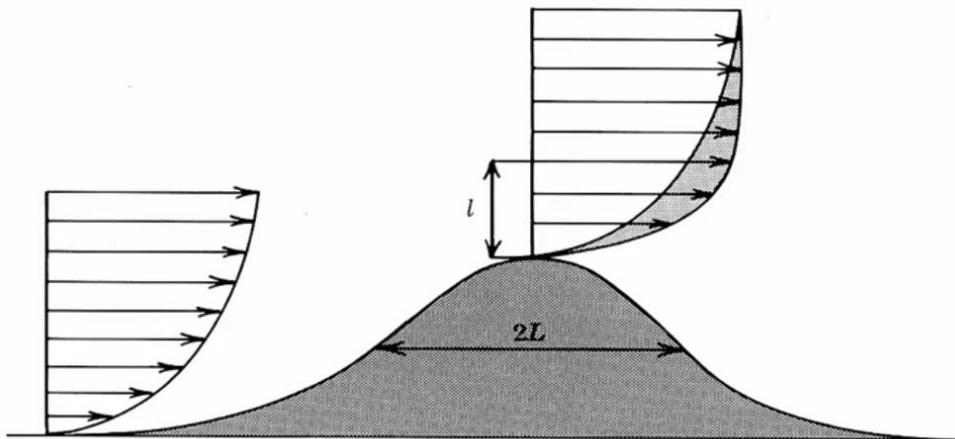


Figura 9.5. El aumento de la velocidad del viento sobre una colina

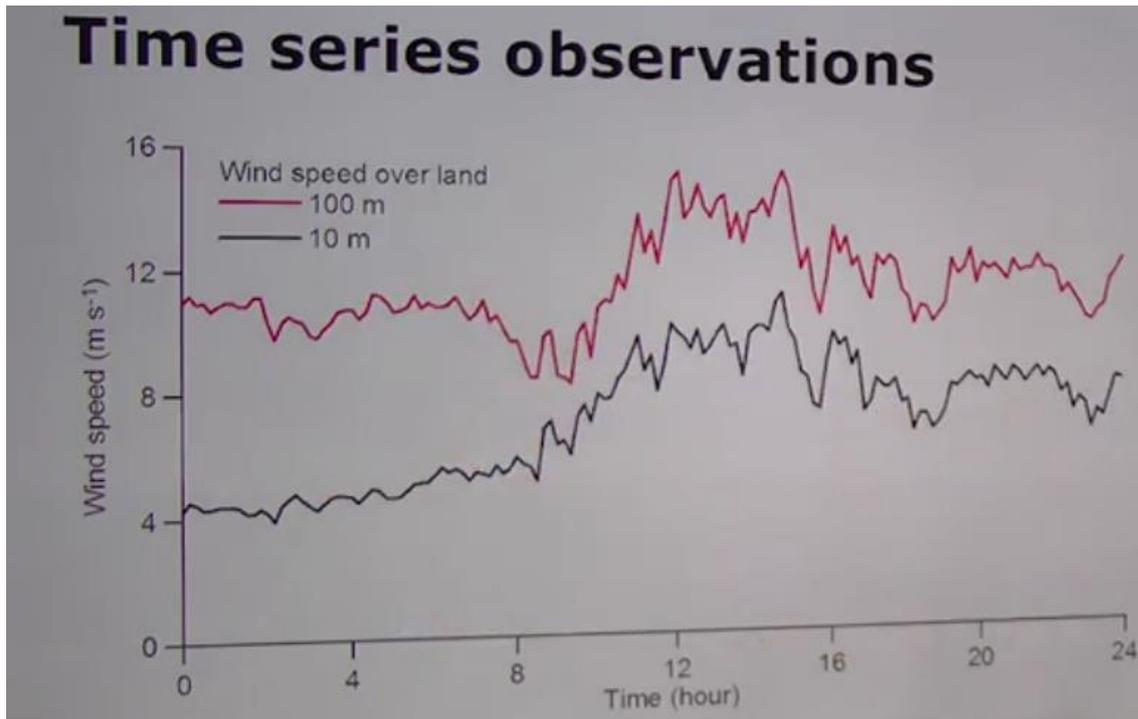
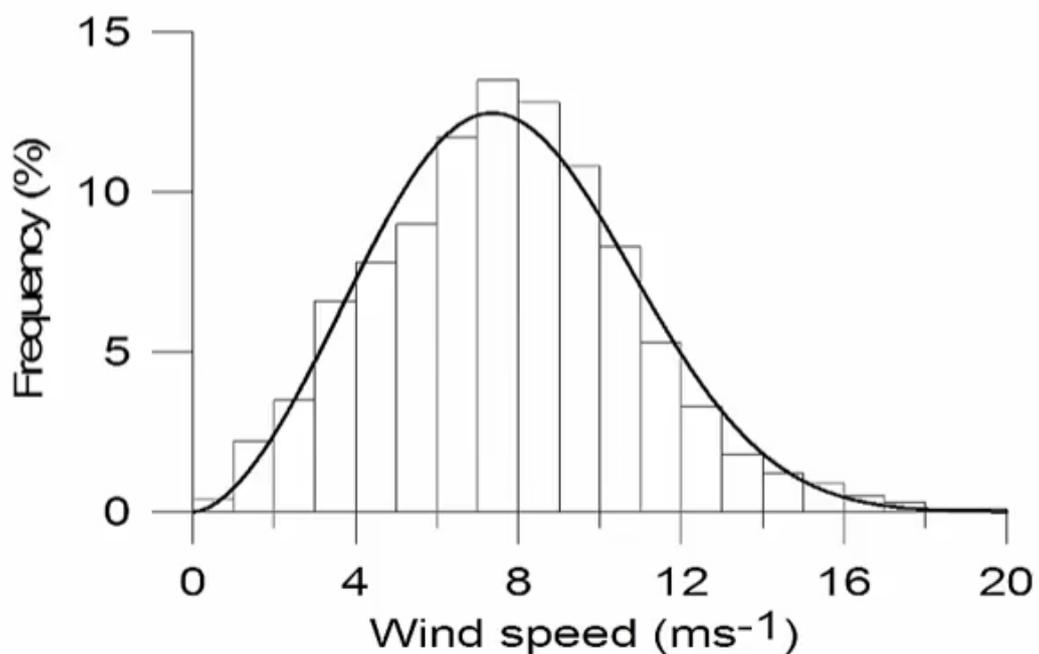


Figura 9.6. Observaciones como series en el tiempo

## Weibull distribution



### Figura 9.7. La distribución estadística de Weibull

Lo que si hacemos es utilizar la distribución de Weibull, representada en la figura 9.7.

En la figura 9.8, observamos un ejemplo de una granja eólica.

En la misma se observan las turbinas ubicadas sobre una loma del terreno.

En el gráfico hay representadas 7.

Con los colores representamos diferentes casos.

El rojo indica la energía que contiene el viento y que podr{a ser usada por las turbinas, en este caso la más alta.

Con los otros colores indicamos valores menores.

Por ese motivo las turbinas se colocaron en ese lugar, ya que hay menos energía en el viento si nos movemos un poco de divho lugar.

## Wind farm Annual Energy Production (AEP)

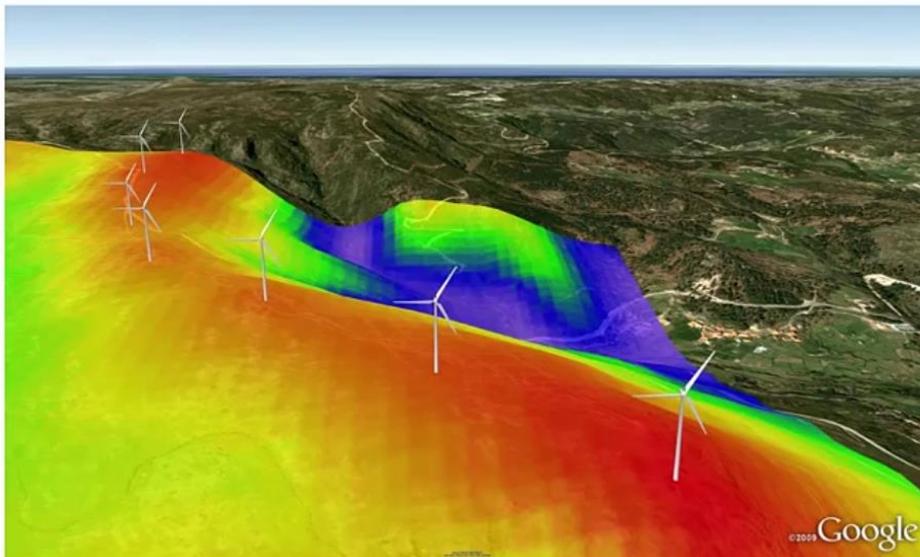


Figura 9.8. La producción anual (AEP) de energía de una granja eólica

### 10. Potencial de energía eólica en Argentina

La región Patagónica, única tierra firme en la banda de 40° a 50° latitud S con vientos casi permanentes del sector WSW á SW, es una de las regiones de mayor potencial eólico del planeta, gracias a la dirección, constancia y velocidad del viento, pudiendo alcanzarse con granjas eólicas allí instaladas factores de capacidad superiores al 35%.

Para muchos especialistas, el viento patagónico es el de mejor calidad en todo el mundo como recurso continental.

En el resto del mundo sólo se encuentran vientos de energía o persistencia equivalentes en algunas islas del Mar del Norte y del Pacífico Norte, o en instalaciones off shore.

La experiencia mundial indica que con vientos medios superiores a 5 m/seg es factible el uso del recurso eólico para la generación eléctrica.

La Argentina tiene en cerca del 70% de su territorio vientos cuya velocidad media anual, medida a 50 metros de altura sobre el nivel del suelo, supera los 6 m/s.

La costa atlántica de la Provincia de Buenos Aires tiene vientos similares a los de las costas del Báltico y del Mar del Norte, superiores a los 7 m/seg.

Vastas zonas en la Patagonia media y sur cuentan con velocidades promedio que superan los 9 m/seg y hasta 12 m/seg.

Por lo general las granjas eólicas on-shore en Europa se encuentran en sitios con promedios de vientos del orden de 7m/seg.

Existen también otras regiones en la Argentina con vientos de intensidades medias entre 7 y 10 m/seg, no sólo en la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires sino también en varias provincias centrales.

## 11. Algunas cifras del mundo

Según la WWEA ( World Wind Energy Assosiation) la capacidad mundial, según su reporte de mitad del año 2016, alcanzaría la maca de 500 GW al finaliza el año (2016).

A la fecha de publicación del informe se habían alcanzado 456 GW.

Se instalaron 21 GW en los primeros 6 meses de 2016.

Alemania, India y Brazil lideran el crecimiento del mercado en el primer semestre de 2016.

La capacidad del viento de todo el mundo alcanzó 456.486 MW al finalizar junio de 2016, de los cuales 21.714 MW fueron instalados durante dicho período.

Dicho crecimiento es similar al de 2015, cuando se agregaron 21,6 GW.

La totalidad de las turbinas instaladas en el mundo a mitad de 2016 pueden generar el 4,7 % de la demanda energética del mundo.

La capacidad global del viento creció un 5% dentro de los primeros meses de 2016, que comparado con 2015 5,8% en el mismo período y con 2014 5,6%.

Y el crecimiento año a la fecha desde mediados de 2015 hasta mediados de 2016 el mismo fue del 16,1%

Los mercados más grandes en 2016 son Alemania, India y Brasil, sin desmedro de los tradicionales líderes: China, EEUU, Alemania, India y España.

Estos representan en conjunto el 67% de la capacidad mundial.

A pesar de ello han disminuido del 73% que tenían en junio de 2013.

En término de nueva capacidad EEUU y España han jugado un importante roll, ya que representan un poco menos del 4% del mercado de las nuevas turbinas.

Esos 5 grandes tienen el 72% de la capacidad instalada.

Tanto Alemania como India incrementaron sus instalaciones y China tuvo un incremento de instalaciones similar al año anterior.

## 12. Capacidad total instalada en Argentina

En la figura 12.1, observamos la evolución de la generación de energía eólica en la Argentina.

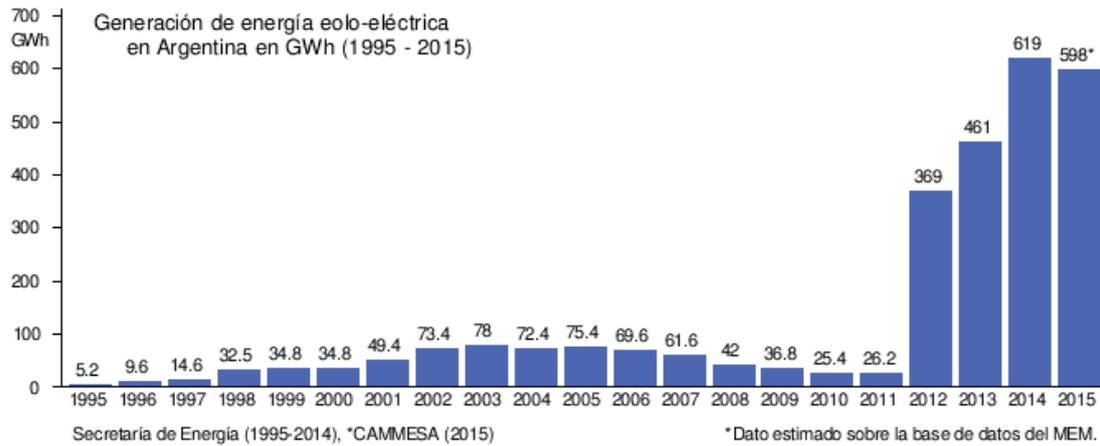


Figura 12.1. La generación de energía eólica en Argentina

Nombre del Parque	Ubicación	Capacidad Instalada	Generación Anual Promedio	Etapa	Potencia	Puesta en Servicio	Aerogeneradores	Propietario	Observaciones
Parque eólico Arauco	Valle de La Puerta, La Rioja	50,4 <sup>(1)</sup> MW	46 GWh <sup>[1]</sup>	I	2,1 MW	Mayo 2011 (inaugurado)	12 × Impsa IWP-83 - 2,1 MW	Gobierno de La Rioja (75%) y Enarsa (25%)	Primer parque eólico con mayor integración de componentes nacionales. <sup>(1)</sup> Varios generadores están entregando una potencia parcial. La potencia real del parque se encuentra entre 25 y 30 MW aprox. <sup>29</sup>
				II	23,1 MW				
				III	25,2 MW	Oct. 2013 <sup>30</sup>	12 × Impsa IWP-83 - 2,1 MW		
Parque eólico Diadema	Diadema Argentina, Chubut	6,3 MW	28 GWh <sup>[1]</sup>			Sept. 2011	7 × ENERCON E-44 - 900 KW	Hychico S.A.	Parque con mayor rendimiento del país (50%). <sup>[1]</sup>
Parque eólico Loma Blanca	Trelew, Chubut	51 MW <sup>18</sup>	183 GWh (previsto) <sup>18</sup>	IV	51 MW	Julio 2013 <sup>18</sup>	17 × Alstom ECO100 de 3 MW	Isolux Corsán S. A.	Aerogeneradores más grande del país (3 MW).
Parque eólico Rawson	Rawson, Chubut	77,4 MW	296 GWh <sup>[1]</sup>	I	48,6 MW	Sept. 2011	27 × Vestas V90 - 1,8 MW	GENNEIA (ex Emgasud)	Mayor parque eólico del país por el momento.
				II	28,8 MW	Enero de 2012	16 × Vestas V90 - 1,8 MW		
Parque eólico El Jume	El Jume, Sgo. del Estero	8 MW	28 GWh (previsto) <sup>(1)</sup>			Oct. 2015 (inaugurado)	4 × Impsa IWP-100 - 2 MW <sup>31</sup>	Sociedad ENERSE SAPEM (Energía Santiago del Estero S.A.)	<sup>(1)</sup> El parque eólico no estaría aún entregando energía a la red. <sup>32</sup>

Referencias: <sup>[1]</sup> Generación estimada sobre la base de datos de CAMMESA (abril 2012 a marzo 2013).

Figura 12.2. Los parques eólicos de gran escala en Argentina

En la figura 12.2, observamos los parques eólicos de gran escala más importantes del país en estado operativo, que inyectan la energía generada a la red nacional de distribución, en general, administrados en el MEM (mercado eléctrico mayorista).

Nombre del Parque	Ubicación	Etapas	Potencia	Aerogeneradores	Propietario	Observaciones
Parque eólico Malaspina <sup>33</sup>	Malaspina, Chubut	I	50 MW	25 × Impsa IWP 2 MW	IMPISA	Construcción suspendida.
Parque eólico Arauco	Valle de La Puerta, La Rioja	IV	52 MW	26 × Impsa IWP-100	Gobierno de La Rioja (75%) y Enarsa (25%)	Construcción en progreso <sup>34</sup> .

### Figura 12.3. Los parques eólicos en construcción en Argentina

En la figura 12.3, observamos los parques en construcción.

Nombre del Parque	Ubicación	Etapas	Potencia	Estado	Desarrollador	Observaciones
Parque eólico Malaspina	Malaspina, Chubut	II	30 MW		IMPISA	
Parque eólico Koluel Kayke	Koluel Kayke, Santa Cruz	I	50 MW		IMPISA	
		II	25 MW			
Parque eólico Loma Blanca	Trelew, Chubut	I, II y III	50 MW c/u		Isolux Corsan	
Central eólica Gastre	Gastre, Chubut		1350 MW		GEASSA	
Parque eólico Madryn	Puerto Madryn, Chubut	I y II	100 MW	Se realizaron obras menores civiles y viales (caminos, accesos, etc). <sup>35</sup> Financiamiento para los primeros 50 MW <sup>36</sup>	GENNEIA	
Parque eólico Valle Hermoso <sup>37</sup>	Valle Hermoso, Chubut		12 MW		Eólica Valle Hermoso	8 aerogeneradores NRG 1500 de 1,5 MW
Parque eólico El Angelito <sup>38</sup>	El Escorial, Chubut		200 MW		Sinowind Technology Ltd	80 aerogeneradores de 2,5 MW
Parque eólico en Zapala <sup>39</sup>	Zapala, Neuquén		10 MW	Presupuesto aprobado por el directorio	Hidroeléctrica Piedra del Águila	5 aerogeneradores de 2 MW
Parque eólico de Santa Fe <sup>40</sup>	Rufino, Santa Fe		25 MW			10 aerogeneradores de 2,5 MW
Parque eólico Cerro Policía	Cerro Policía, Río Negro		50 MW		Invap - Dow	20 turbinas eólicas

### Figura 12.4. Los parques eólicos anunciados en Argentina

Adicionalmente hay unos 15 parques adicionales de baja escala, en funcionamiento.

En la figura 12.5, observamos una fotografía del parque eólico Rawson en Argentina,

## 13. El marco regulatorio en Argentina

El marco regulatorio argentino se basa en la Ley Nacional 26.190, decreto 562/2009, que declara de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables con destino a la prestación de servicio público como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad.

La citada Ley establece una remuneración adicional de \$ 15 por megavatio sobre el precio del mercado mayorista.



**Figura 12.5. El parque eólico Rawson en Argentina**

El objetivo de la Ley es lograr una contribución de las fuentes renovables que alcance el 8% del consumo de energía eléctrica nacional en un plazo de 10 años a partir de la puesta en vigencia del régimen.

La misma también provee ciertos incentivos fiscales tales como amortización acelerada o exención del pago del Impuesto al Valor Agregado (IVA).

Simultáneamente a la reglamentación de esta Ley se ha lanzado en mayo de 2009 el Programa GENREN, de generación eléctrica utilizando fuentes de energías primarias renovables.

Este programa por primera vez toma como referencia un precio fijo en moneda constante y por un plazo de diez años en un llamado a licitación, sin tomar como base un mero incentivo por sobre el valor del MWh en el MEM.

Se llama a licitación un total de 1000 MW utilizando energías renovables de acuerdo con el detalle siguiente, en el que se observa que la mitad es la eólica: Aspectos sobresalientes del programa GENREN

## 14. La intensidad de los vientos en la Argentina

En la figura 14.1, observamos la intensidad de los vientos en la República Argentina de acuerdo a la zona del país.

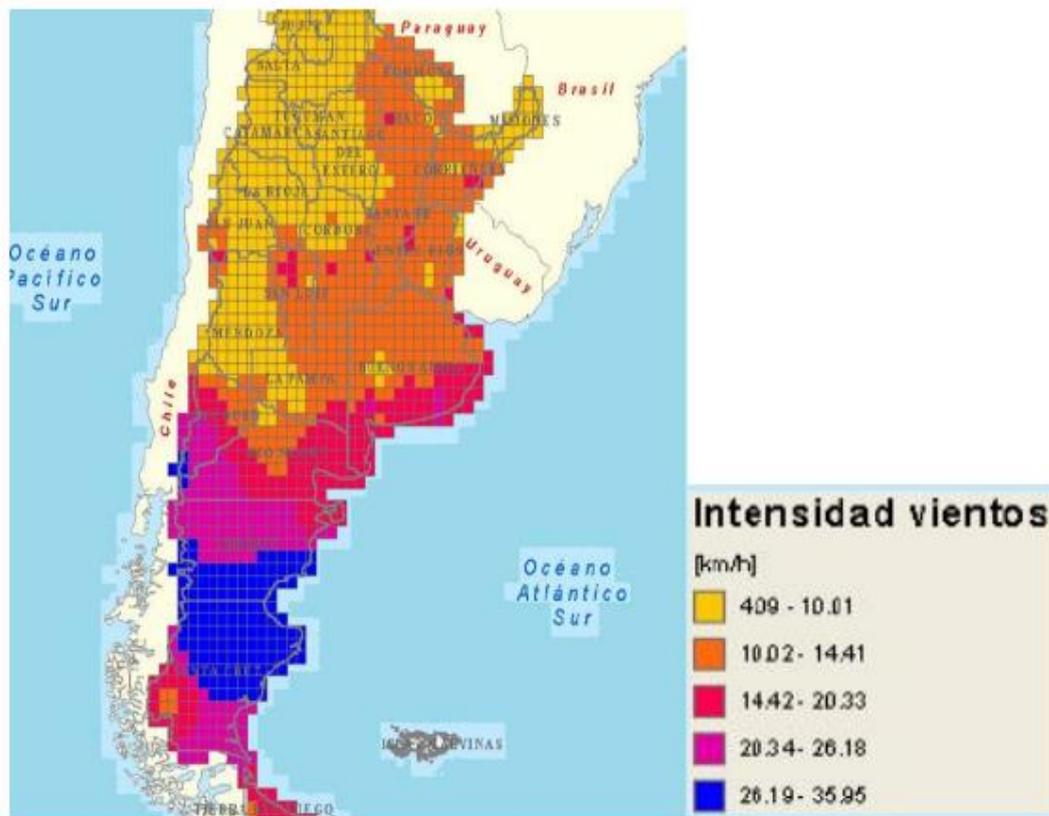


Figura 14.1. La intensidad de los vientos en Argentina

## 15. Turbulencia atmosférica

Analicemos cuales son los factores que causan la turbulencia atmosférica.

Porque es importante la turbulencia atmosférica para la energía eólica.

Porque tenemos turbinas, que giran cuando el viento sopla en una dirección perpendicular al plano del rotor.

Pero el viento tiene variaciones aleatorias, que causan cargas a las turbinas.

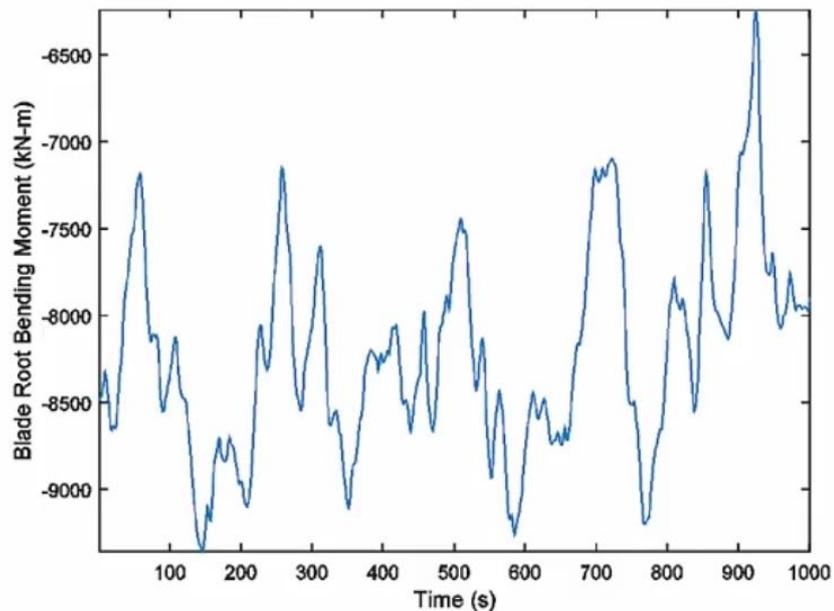
De una manera sencilla, eso significa que, se causa estrés mecánico en el extremo de la pala de la turbina; porque el extremo tiende a girar generando un posible deterioro o desgaste, por flexión.

Eso lo significamos con que la turbina sufre carga en el material.

Es decir, una hoja particular de la turbina puede estar rotando y al mismo tiempo doblándose, por ejemplo, hacia atrás.

Lo mencionado causa fluctuaciones en la carga de la turbina.

## Why is turbulence relevant for wind energy?



**Figura 15.1. La carga en una turbina debido a las turbulencias**

Analicemos la figura 15.1.

La misma muestra en la secuencia temporal, medido en KiloNewton metro, el momento que sufre una hoja de la turbina.

La variación de ese momento, que hace que la hoja de la turbina tienda a doblarse, está originado por la turbulencia.

Lo que observamos es una variación al azar del mismo en el gráfico.

Ese estrés mecánico del material puede llegar en un determinado momento a general la fatiga del material con su consecuente deterioro de la turbina.

## What causes atmospheric turbulence?



**Figura 15.2. La causa de las turbulencias**

En la fotografía de la figura 15.2, observamos que si la misma tuviera movimiento tendríamos a simple vista el efecto de las turbulencias en los árboles de la misma.

Para tratar de entender el motivo de la generación de las turbulencias, debemos imaginar a que la atmósfera está formada de parcelas de aire, representadas en la figura 15.3, de color celeste; que están ubicadas unas arriba de otras.

El color celeste indica la temperatura.

En la figura 15.4, hemos corregido el tema de color, donde rojo, es el de mayor temperatura y celeste de menor.



**Figura 15.3. Las parcelas de aire de la atmósfera**



**Figura 15.4. Las parcelas de aire de la atmósfera con representación de su temperatura**

Las parcelas que están ubicadas cerca del suelo casi no tienen movimiento, mientras que las que están más arriba tendrán más velocidad.

Lo que esto causa es un gradiente en la velocidad a medida que nos movemos de las parcelas de aire que están cerca del suelo hacia las que están más altas en la atmósfera

Y este gradiente, o la diferencia de velocidad a medida que ascendemos es lo que causa la turbulencia atmosférica (que la podemos ver como la mezcla de las parcelas de aire).

En la figura 15.2, donde tenemos una cantidad de árboles en la tierra que causan fricción cuando las parcelas de aire se mueven.

Otra explicación es la de la diferencia de temperaturas de las parcelas, ya que la densidad de las más frías es mayor que las más cálidas, por lo que las frías tienden a bajar y las cálidas a subir.

Podemos hablar de **niveles de turbulencia**.

Podemos hablar acerca de la velocidad de las parcelas de aires esperando una fracción de segundo a varios días.

En ese caso tendremos un **nivel de tiempo** (time scale).

O podríamos, también hablar de la variación de la velocidad de las parcelas de aire que están dispersadas en el espacio, de una fracción de milímetro a kilómetros.

En ese caso tendremos un **nivel de espacio** (space scale).

También existe el **nivel micro (micro scale)**, en el que la variación de las velocidad de las parcelas de aires van de una fracción de segundo hasta una hora.

En la figura 15.5, observamos un anemómetro con forma de copa, también llado veleta.

Su funcionamiento se desprende de observar la fotografía.

Podemos observar que la velocidad del viento es proporcional a la del viento.

El de la figura 15.6, es el anemómetro sonoro.

Este es más preciso que el decopa o veleta.

El del mostrado en la misma tiene tres ejes, en cada uno de ellos tiene un transmisor y un receptor.

Consisten de dos pares de dispositivos de ultrasonido que envían y reciben ondas sonoras, y se encuentran enfrentados a una distancia de entre 4 y 8 pulgadas (10 y 20 cm respectivamente).

Envían ondas sonoras ida y vuelta, midiendo de esta manera qué tan rápido y en qué dirección se desplaza el viento entre ellas.

Los anemómetros sónicos pueden tomar lecturas muy precisas.



**Figura 15.5. El anemómetro de copa, también llamado veleta**



**Figura 15.6. El anemómetro sonoro de tres ejes**

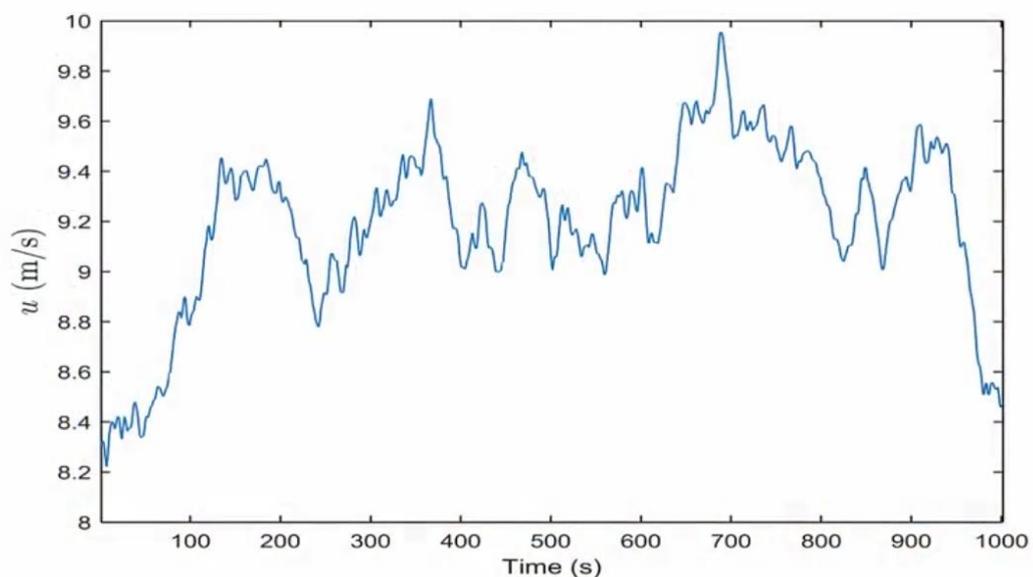
La emisión del ultrasido comienza en el transmisor, es recibida por el receptor y vuelta al emisor de retorno.

El sistema mide el tiempo transcurrido entre dichas emisiones de ultrasonido.

El tiempo transcurrido dentre la emisión del pulso de ultrasonido entre emisor y receptor es comparado con el del retorne en viaje inverso.

Si tuviéramos calma, las velocidades deberían ser iguales, si hay diferencia, esa diferencia de tiempo es proporcional a la velocidad del viento.

## Wind speed time series



## Figura 15.7. La velocidad del viento seriada en el tiempo

En la figura 15.7, observamos mediciones de la velocidad del viento durante un período de 1.000 seg.

Es evidente la distribución aleatoria de la misma.

El caso mostrado está tomado a partir de las mediciones típicas de una veleta.

## 16. La regulación en Argentina

ENARSA, el ente regulador del mercado eléctrico, compra la energía eléctrica proveniente de los adjudicatarios de la licitación para entregarla a CAMMESA, la compañía administradora del mercado mayorista eléctrico, siempre dentro de los sistemas vinculados a la red interconectada nacional, operaciones garantizadas a precio constante en US\$ por el lapso de 15 años.

Las empresas extranjeras deberán asociarse con una compañía local para poder licitar una obra.

El programa GENREN se presenta como la propuesta más destacada para fomentar el desarrollo de la energía eólica y promover su utilización, contribuyendo a la diversificación de la matriz energética y a la mitigación del cambio climático.

Los fabricantes más importantes del mercado de turbinas eoloeléctricas se han instalado de diversas maneras en la Argentina.

Tanto los tradicionales de Europa como los de la India y China se han movilizado, con más ímpetu aún desde el lanzamiento del Proyecto GENREN.

Hay en Argentina tres desarrolladores de aerogeneradores de potencia.

Las tres empresas eólicas son IMPSA, NRG Patagonia e INVAP.

IMPSA, empresa de proyección mundial reconocida desde hace muchos años por sus turbinas hidráulicas y por sus grúas para containers, ya tiene producción local de turbinas eólicas de capacidades superiores al MW, de diseño propio, contando con la homologación internacional requerida, al tiempo que ha instalado una planta en Brasil para la producción a partir de licencia de un fabricante europeo.

INVAP tiene un diseño propio, también con potencia superior al MW, ya homologado internacionalmente y a la espera de financiación para su producción.

INVAP ya está produciendo en serie un exitoso generador de 4 kW y comenzando la producción de otro de 10 kW.

NRG Patagonia también cuenta con un prototipo en la escala del MW con homologación.

## 17. Productos comercializados en Argentina

Tan sólo a modo de ejemplo de alguna turbina que se comercializa en la Argentina, hemos elegido las especificaciones del modelo Skystream 3.7, que se observa en la figura 17.1.

Es una turbina pequeña, que como dice el folleto de la figura 17.1, está pensada para hogares y negocios.

En el mismo folleto figura una fotografía tomada de atrás de la tyrbina, como observamos en la figura 16.2.

En la figura 16.3, observamos diagramas de la turbina, que también figura en el folleto de la turbina Skystream 3.7.



**SKYSTREAM 3.7°**  
by Southwest Windpower

A revolutionary small wind turbine for utility-connected homes and businesses.

- Helps offset your electric bills
- Produces low cost energy
- Blends into the environment
- Designed for long life

**Figura 17.1. La turbina marca Skystream modelo 3.7**

Por último, tomado también del folleto de la turbina Skystream 3.7, figuran las especificaciones técnicas de la misma.



**Figura 17.2. Una vista posterior de la turbina Skystream 3.7**

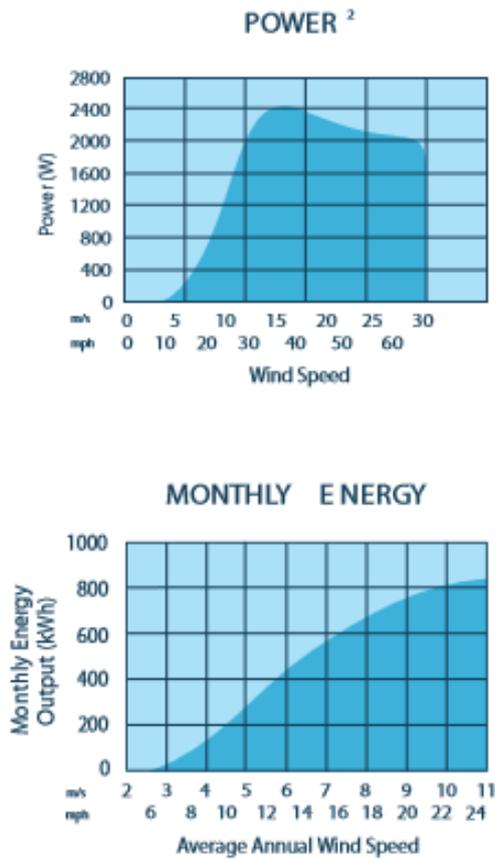


Figura 17.3. Diagramas de la turbina Skystream 3.7

Technical Specifications	
Rated Capacity	2.4 kW
Rotor Diameter	12 ft (3.72 m)
Weight	207 lb (94 kg)
Swept Area	115.7 f t <sup>2</sup> (10.87 m <sup>2</sup> )
Type	Downwind rotor with stall regulation control
Direction of Rotation	Clockwise looking upwind
Blades	(3) Fiberglass reinforced composite
Rated Speed	50 - 330 rpm
Maximum Tip Speed	216.5 ft/s (66 m/s)
Alternator	Slotless permanent magnet brushless
Yaw Control	Passive
Grid Feeding	120/240 VAC Split 1 Ph, 60 Hz 120/208 VAC 3 Ph compatible, 60 Hz (Check with dealer for other configurations)
Battery Charging	Battery Charge Controller kit available for battery charging systems
Braking System	Electronic stall regulation with redundant relay switch control
Cut-in Wind Speed	8 mph (3.5 m/s)
Rated Wind Speed	29 mph (13 m/s)
User Monitoring	Wireless 2-way interface
Survival Wind Speed	140 mph (63 m/s)
Warranty	5 year limited warranty

**Figura 17.4. Especificaciones técnicas de la turbina Skystream 3.7**

## 18. Wind resources

Como resumen de algunos de los conceptos que analizamos, veamos un ejemplo de los wind resources de Europa, como observamos en la figura 18.1.

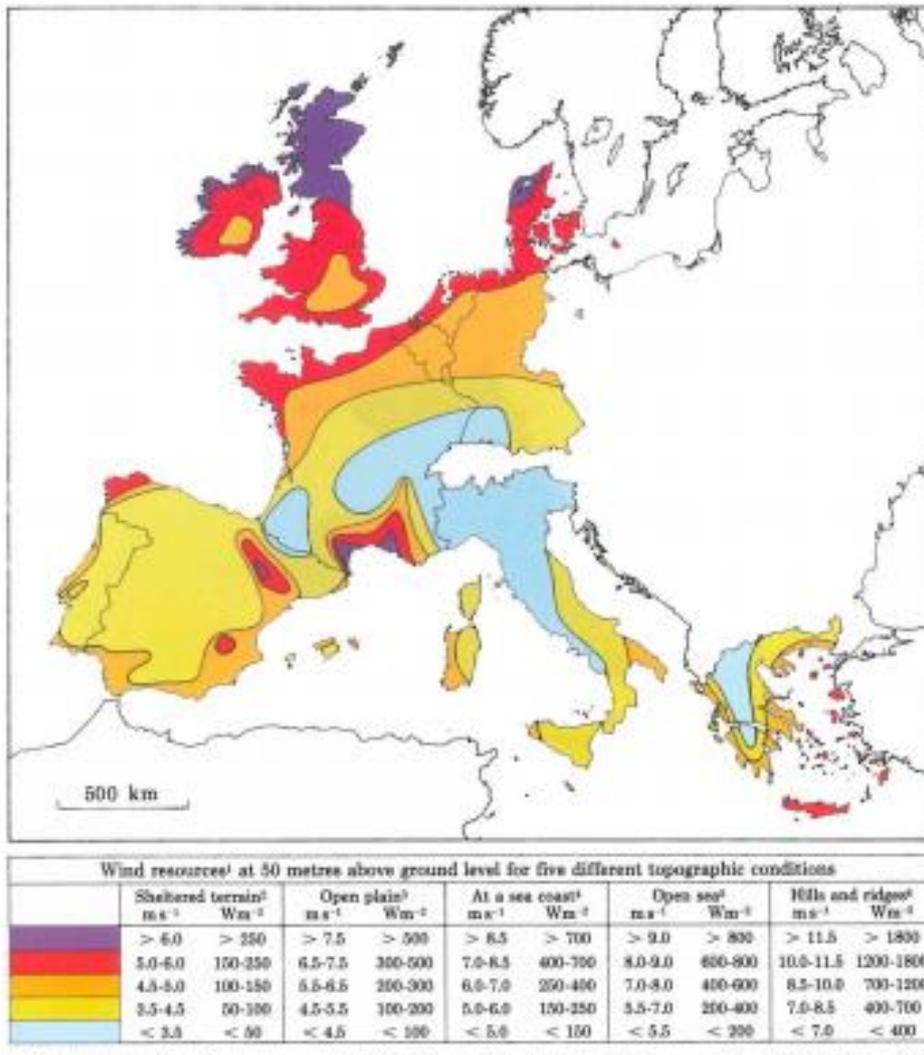


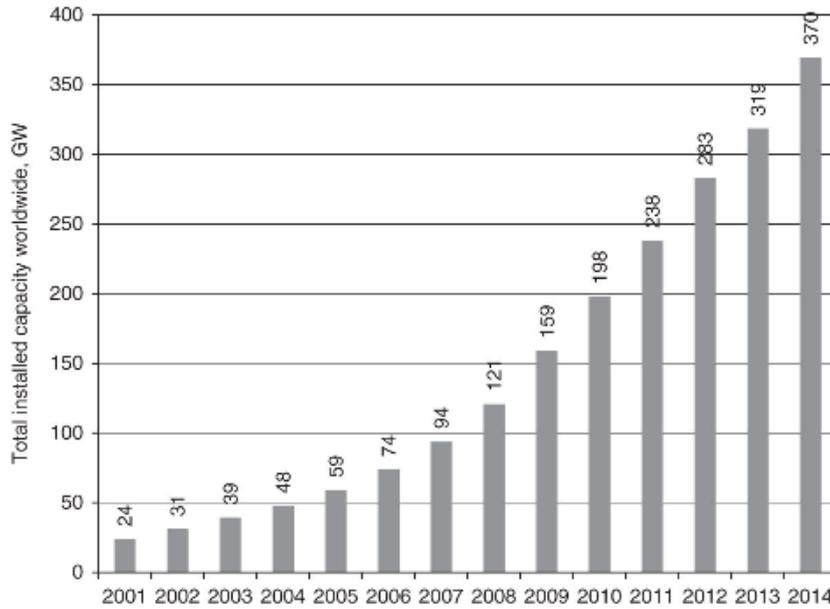
Figura 18.1. Wind resources en Europa

## 19. El negocio mundial de energía eólica

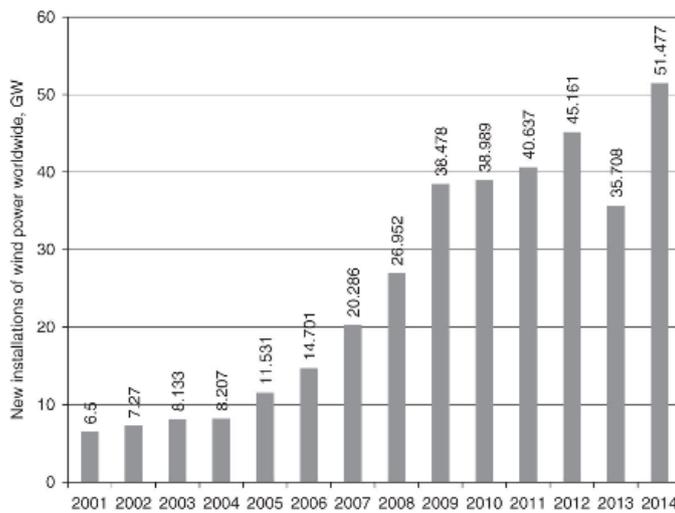
Tomando en cuenta el REN21 del año 2016 (Renewables 2016. Global Status Report), podemos ver que dicen que la energía eólica es la opción de menor costo para la capacidad de generación de energía nueva en un conjunto, que se incrementa, de localidades.

En 2014, la energía eólica era un negocio de u\$ 99.500 millones en términos de nuevos proyectos y empleaban cerca de 1.027.000 personas en todo el mundo.

En un informe del GWEC (Global Wind Energy Council), figura que en 2014 había disponible en el mundo 370 GW instalados.



**Figura 19.1. Capacidad total instalada**



**Figura 19.2. Capacidad nueva instalada**

En la figura 19.1, observamos la evolución de la capacidad total instalada en el mundo de energía eólica.

Entre 2001 y 2014, observamos un crecimiento anual de la capacidad instalada del 16%.

En la figura 19.2, observamos las instalaciones nuevas por año.

## 20. Abreviaturas usadas en EO

**SODAR:** Sound Detection and Ranging – mediciones en la atmósfera mediante la propagación del sonido

**LIDAR:** Light Detection and Ranging – mediciones en la atmósfera mediante la propagación de ondas electromagnéticas (microondas o rayo láser).

**RS:** Remote Sensing - mediante el uso de sensores remotos.

## 21. RENOVAR

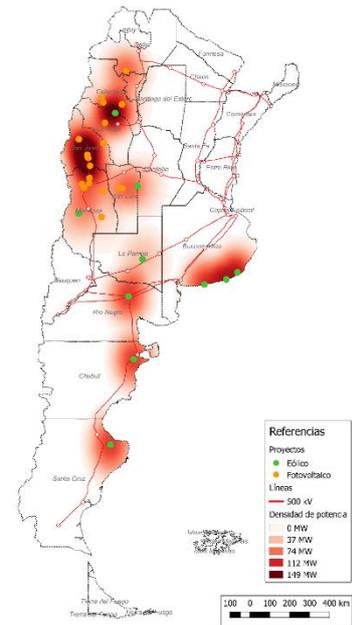
En Argentina en los últimos años se han lanzado tres rondas del llamado RENOVAR, el RENOVAR ronda 1, la ronda 1,5 y la ronda 2.

Todos referidos a la generación de energía eléctrica mediante proyectos de parques que usen energías renovables.

En particular en energía eólica, en la ronda 1.5 se adjudicaron 10 proyectos de parque eólicos de acuerdo al detalle de la figura 20.1, tomada de un informe de CAMMESA.

### PROYECTOS ADJUDICADOS

TECNOLOGÍA	CANTIDAD DE PROYECTOS	POTENCIA ADJUDICADA MW	PRECIO PROMEDIO USD / MWh	ENERGIA ANUAL GWh / Año
 EÓLICA	10	765,4	53,34	3.037
 SOLAR	20	516,2	54,94	1.274
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>1.281,5</b>	<b>53,98</b>	<b>4.311</b>



**Figura 20.1. Renovar 1,5 eólica y solar FV**

En el mapa de la misma la ubicación dentro del territorio argentino están marcados con puntos de color verde.

El detalle de los mismos están en la figura 20.2.

En la figura 20.3, se detallan los planes de inversión que tenía el Ministerio de Minería de la Nación para las energías renovables para el período 2.018 al 2.025, en una fecha anterior al lanzamiento de la Ronda 2 y habiéndose realizado la adjudicación de la ronda 1.5..

### RONDA 1.5- PROYECTOS ADJUDICADOS: EÓLICA

TECNOLOGÍA	REGIÓN	ID	PROVINCIA	NOMBRE DEL PROYECTO	OFERENTE	MW	PRECIO ADJUDICADO (USD/MWh)
 EÓLICA	BUENOS AIRES	EOL-45	BUENOS AIRES	P.E. Pampa	SINOHYDRO CORPORATION LIMITED	100	46,0
		EOL-48	BUENOS AIRES	P.E. Vientos de Necochea 1	CENTRALES DE LA COSTA ATLÁNTICA S.A.	38	55,5
		EOL-29	BUENOS AIRES	P.E. Miramar	ISOLUX INGENIERIA S.A.	98	56,4
	COMAHUE	EOL-19	LA PAMPA	P.E. La Banderita	FACUNDO FRAVEGA	37	50,0
		EOL-09	RIO NEGRO	P.E. Pomona I	GENNEIA S.A.	100	54,9
	PATAGONIA	EOL-20	SANTA CRUZ	P.E. Del Bicentenario	PETROQUIMICA COMODORO RIVADAVIA S.A.	100	49,5
		EOL-27	CHUBUT	P.E. Loma blanca 6	ISOLUX INGENIERIA S.A.	100	53,5
	RESTO EOLICA	EOL-32	MENDOZA	P.E. El Sosneado	EMPRESA MENDOCINA DE ENERGÍA S.A.P.E.M.	50	55,0
		EOL-47	LA RIOJA	P.E. Arauco II (Etapa 3 y 4)	PARQUE EÓLICO ARAUCO S.A.P.E.M.	95	56,7
		EOL-37	CORDOBA	P.E. Achiras	CP RENOVABLES S.A.	48	59,4

Figura 20.2. Renovar 1,5 proyectos adjudicados

### METAS NACIONALES DE INSERCIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES 2018-2025

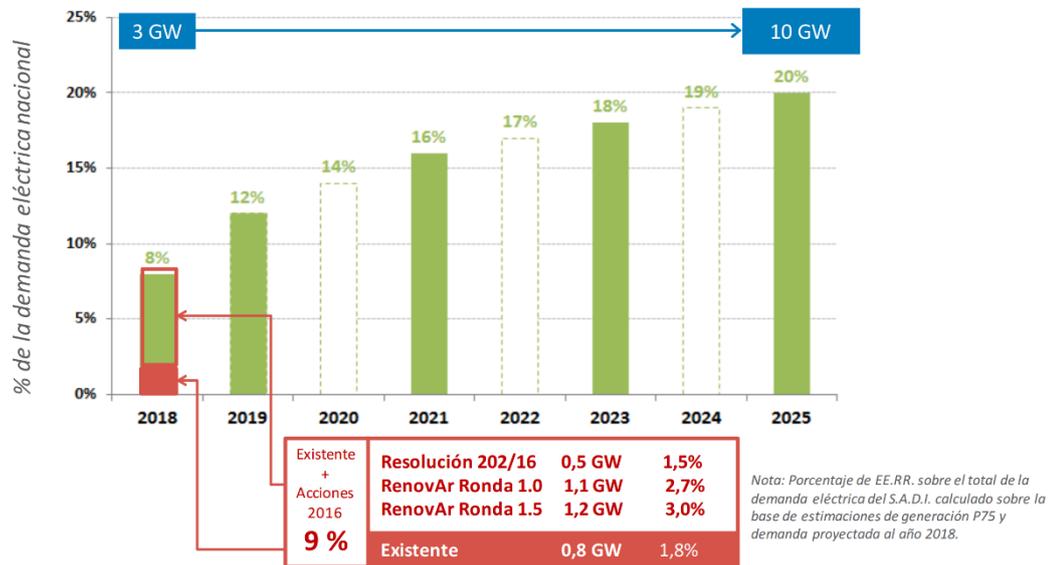


Figura 20.3. Metas de inversión del Ministerio de Minería en renovables

En la tabla 20.1, hemos detallado la cantidad de proyectos adjudicados con los valores de la potencia y de los precios ofertados.

Región	Cantidad de proyectos	Potencia (MW)	Precio Ofertado (USD/MWh)	
			Mínimo	Medio
Bs. As.	8	680	46,00	53,73
Comahue	3	187	49,98	55,02
Resto País	3	198	49,50	53,47
Patagonia	5	497	55,00	56,71
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>1562</b>	<b>46,00</b>	<b>54,20</b>

**Tabla 20.1. Detalle de los proyectos adjudicados para energía eólica en RENOVAR 1,5**

Para más detalles sugiero al lector a usar el link siguiente:

[http://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/RenovAr/Presenta%20MINEM%20Ronda%201.5\\_%20Adjudicacion%202016%20nov%2025.pdf](http://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/RenovAr/Presenta%20MINEM%20Ronda%201.5_%20Adjudicacion%202016%20nov%2025.pdf).

## 22. Bibliografía

- Danish Wind Industry Association (DWIA). <http://www.windpower.org/en/>.
- A Mathematical Look at a Physical Power Prediction Model. Lars Landberg. Department of Wind Energy and Atmospheric Physics. Rise National Laboratory. Roskilde. Denmark. <http://www.ccpo.odu.edu/~klinck/Reprints/PDF/landbergWindEnergy98.pdf>.
- Asociación Argentina de Energía Eólica. Integrante de la WWEA (World Wind Energy Association). <http://www.argentinaeolica.org.ar/portal/images/stories/Eolica%20en%20Argentina.pdf>.
- The European Wind Atlas. Ib Troen y Erik Ludtang Petersen. Technical University of Denmark. 1989. Roskilde. Denmark. [http://orbit.dtu.dk/files/112135732/European\\_Wind\\_Atlas.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/112135732/European_Wind_Atlas.pdf).
- Wind Energy Resource Atlas of the United States. <http://rredc.nrel.gov/wind/pubs/atlas/>.
- Iowa Energy Center's Iowa Wind Resource Assessment Maps. <http://www.energy.iastate.edu/renewable/wind/maps-index.html>.
- Missouri Department of Natural Resources Wind Energy Resource Maps. <http://www.dnr.state.mo.us/energy/renewables/wind-energy.htm>.
- Wind Maps on NREL's Dynamic Maps and GIS Data website. [http://www.nrel.gov/gis/wind\\_maps.html](http://www.nrel.gov/gis/wind_maps.html).
- Wind Powering America. <http://www.eere.energy.gov/windandhydro/windpoweringamerica/>.
- REN21 2016. Renewables 2016 Global Status Report. [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR\\_2016\\_Full\\_Report.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf).
- Energía eólica. Enrico Spinadel. Segunda Edición. Nueva Librería S. R. L.. 2015. ISBN 978-987-1871-31-5.
- Especificaciones técnicas del anemómetro de copa modelos S11100 y S11100H fabricados por la empresa alemana Ammonit [http://www.ammonit.com/images/stories/download-pdfs/DataSheets/Anemometers/Anemometer\\_ThiesFirstClassAdvanced\\_S11100-H.pdf](http://www.ammonit.com/images/stories/download-pdfs/DataSheets/Anemometers/Anemometer_ThiesFirstClassAdvanced_S11100-H.pdf).
- Meteorology for Wind Energy. An Introduction. Lars Landberg. Willey. 2016. ISBN 9781118913444.
- Medidas que deberá tomar la Argentina para alcanzar una matriz 100% renovable. Reportaje del periodista Gastón Fenés de Energía Estratégica a Roque Pedace, investigador de la UBA y miembro del partido ambientalista Los Verdes. <http://www.energiaestrategica.com/las-medidas-debera-tomar-la-argentina-alcanzar-una-matriz-100-ciento-renovable-2>.