



# La Meteorología y la Oceanografía en la industria energética

Bibiana Cerne  
Diego Moreira

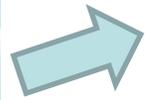
2016

Dpto. de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN, Universidad de Buenos Aires.  
Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA/CONICET-UBA)  
Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (UMI IFAECI/CNRS-CONICET-UBA)

# Energía renovable y no renovable



Central térmica



Biocombustible



Central Nuclear



Petróleo



Mareomotriz



Central Solar



Central hidroeléctrica

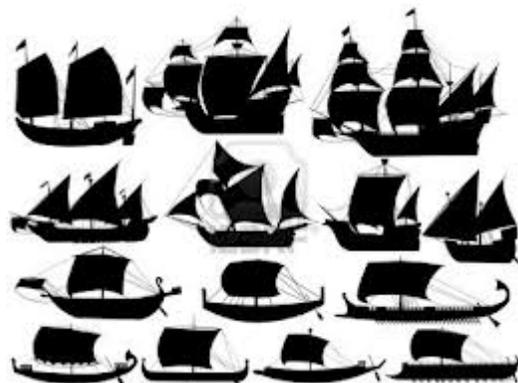


Central geotérmica

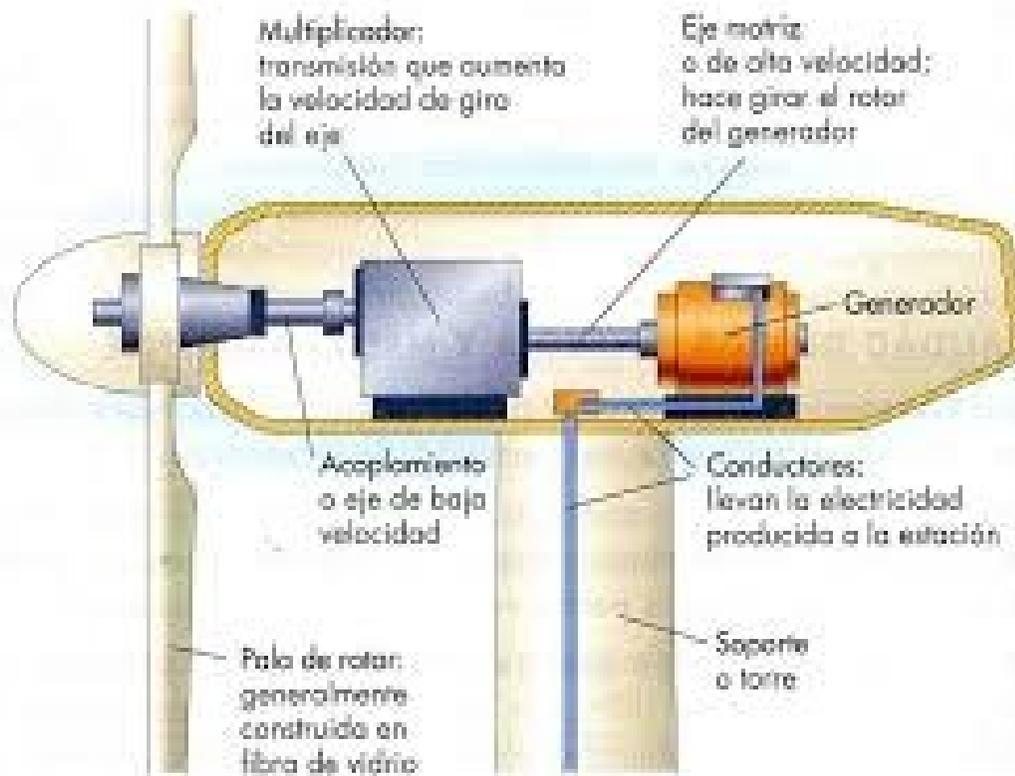


Central eólica

- **Energía eólica** – Un poquito de historia de los distintos usos de la energía cinética del aire



- **Energía eólica – Como funciona un aerogenerador?**



Generar energía a partir del viento es simple: el viento pasa sobre las aspas del aerogenerador y provoca una fuerza giratoria. Las palas hacen rodar un eje que hay dentro de la góndola, que entra a una caja de cambios. La caja de cambios incrementa la velocidad de rotación del eje proveniente del rotor e impulsa el generador que utiliza campos magnéticos para convertir la energía rotacional en energía eléctrica.



- **Energía eólica** – Beneficios y perjuicios de la energía eólica

✓ **Beneficios**

- Energía renovable; i.e, no importa cuanto aprovechamiento del viento exista hoy en día, el recurso seguirá existiendo en el futuro.
- Energía limpia: A diferencia de las centrales de energía tradicionales los aerogeneradores no emiten contaminantes o gases de efecto invernadero en su vida útil.

**X Perjuicios**

- Alto grado de inversión inicial: Esta tecnología requiere de una mayor inversión inicial comparado por ejemplo con los generadores a base de quema de combustibles fósiles. Eso dificulta el desarrollo de más parques eólicos.
- Impacto sonoro
- Impacto visual?
- Mortalidad de aves y murciélagos.
- Otros



- **Energía eólica** – Como entra en juego la meteorología?

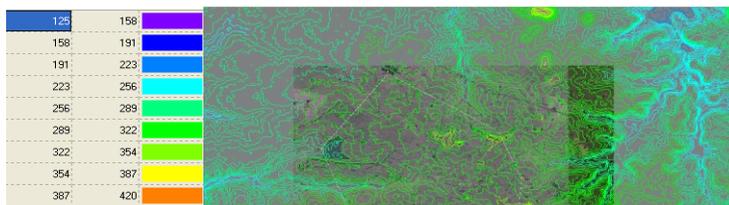
## **Una campaña de medición implica:**

- 1 año de medición como mínimo
- Selección de todas las magnitudes físicas a medir
- Selección del equipamiento: Tipo y características
- Determinar el número y ubicación de las torres
- Establecer alturas de medición
- Establecer la frecuencia de muestreo y el intervalo de registro
- Establecer como será almacenada y transmitida la información
- Diseñar todo de acuerdo a los estándares en la materia
- Diseño del sistema de alimentación
- Diseño de fundación y configuración de riostras para la erección
- Montaje de la torre e instrumentos. Cableado. Puesta en marcha.
- Revisión periódica del equipamiento/estructura
- Recolección periódica de los datos medidos
- Procesamiento de los datos medidos



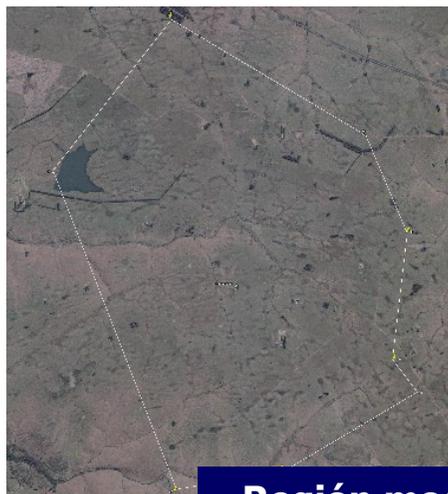
- **Energía eólica** – Como entra en juego la meteorología?

## Generación del mapa eólico



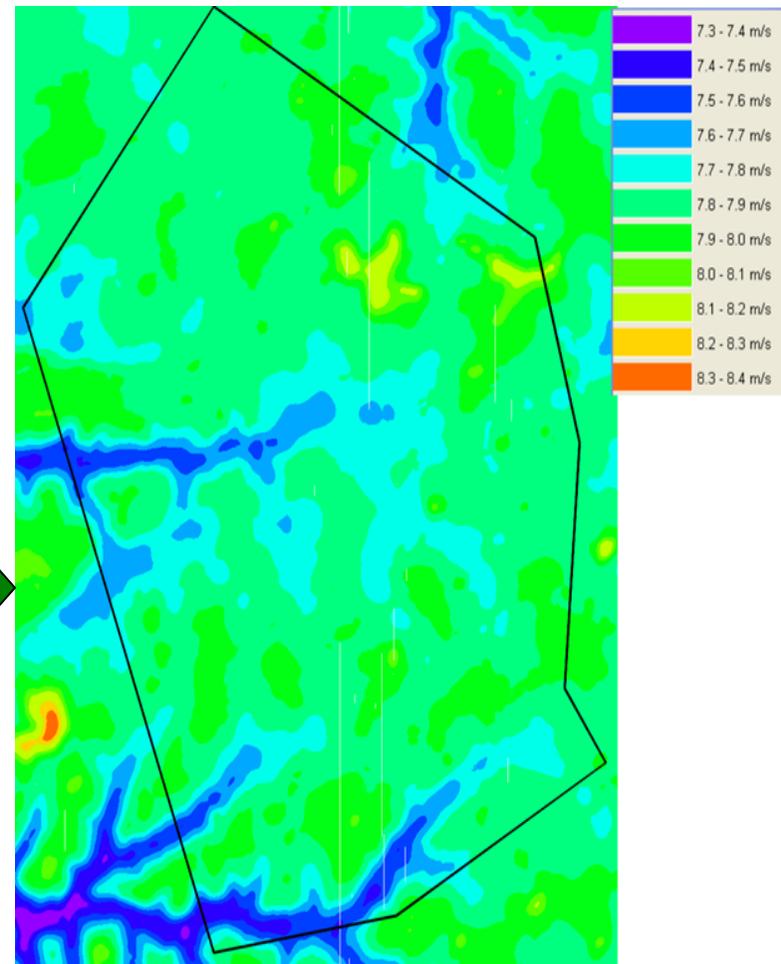
**Topografía**

**Rugosidad**



**Región modelada**

**WAsP**



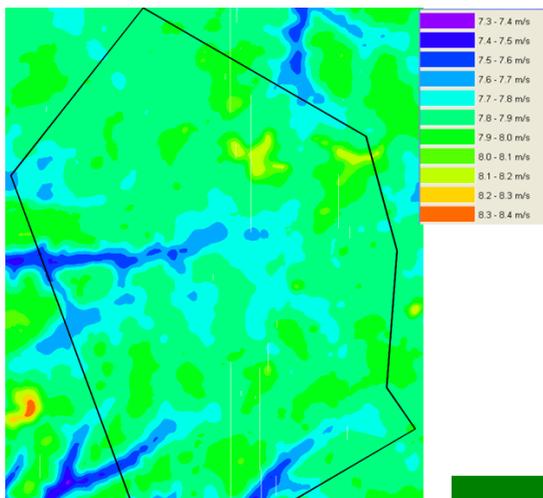
**Datos de viento**

**Mapa eólico**

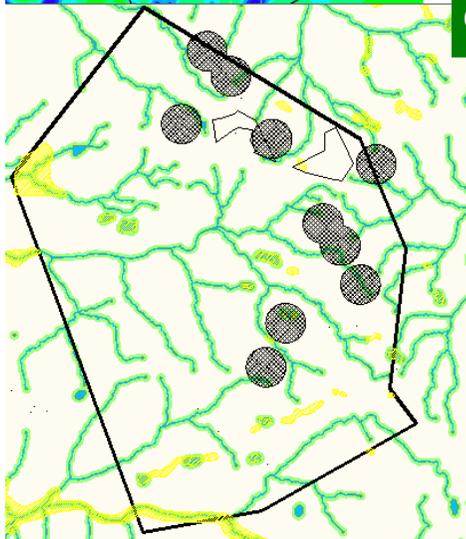


• **Energía eólica** – Como entra en juego la meteorología?

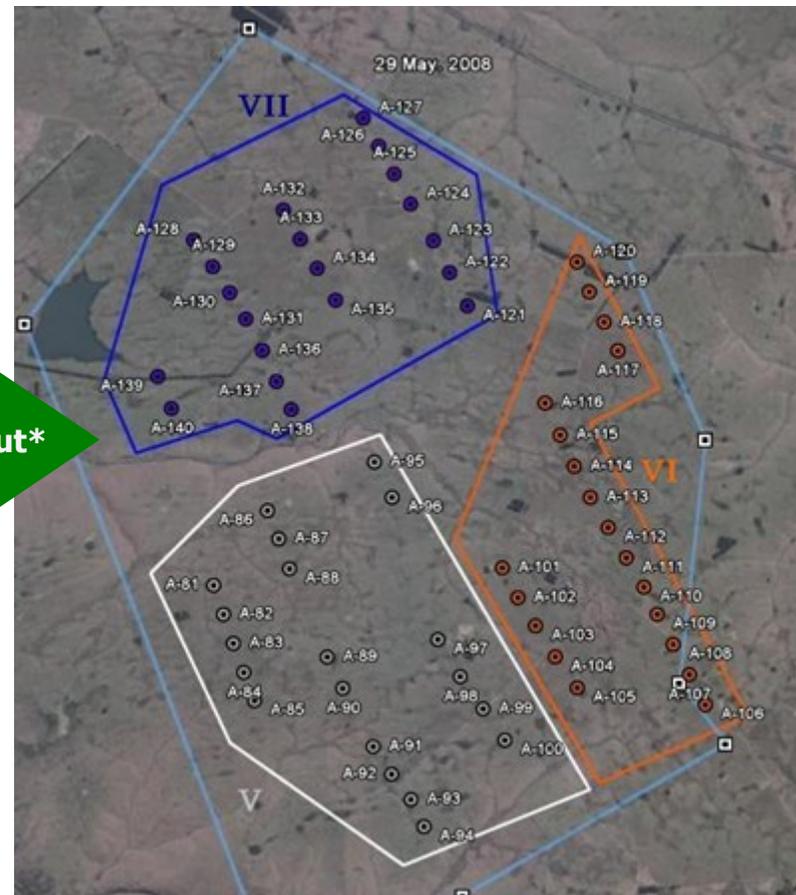
**Mapa eólico**



Optimización del layout\*



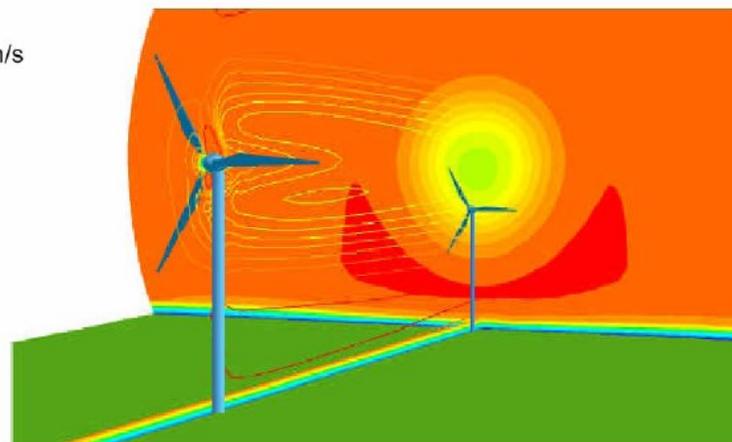
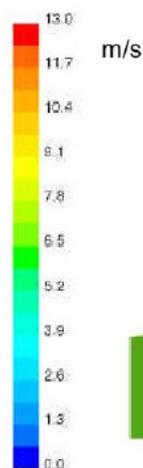
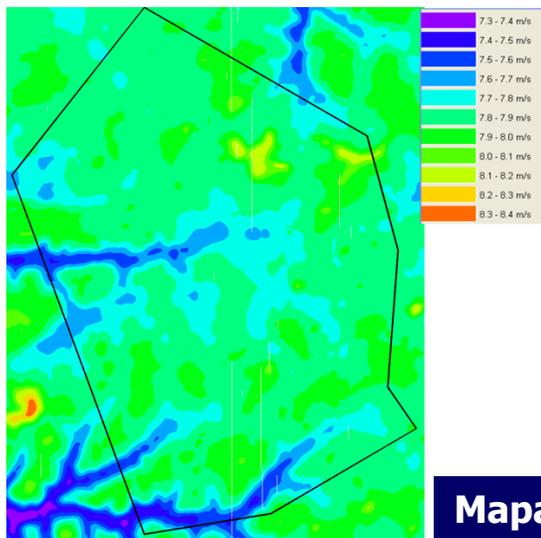
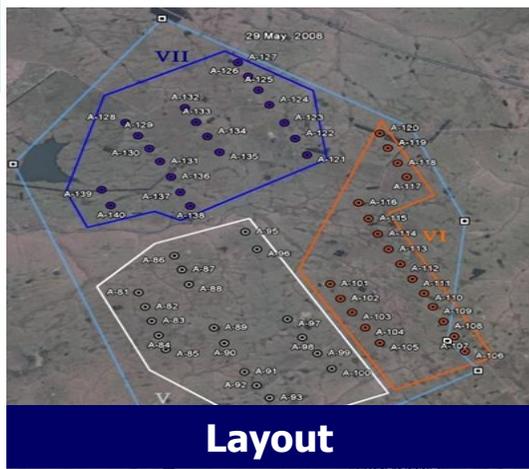
**Área disponible**



**Layout final**



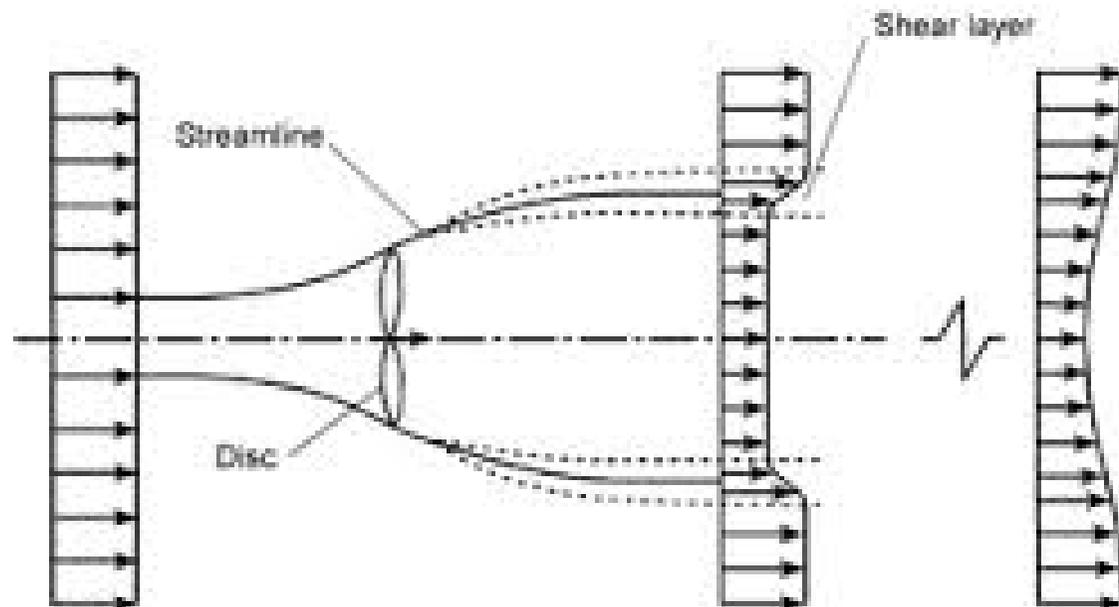
• **Energía eólica – Como entra en juego la meteorología?**



- **Energía eólica** – Como entra en juego la meteorología?



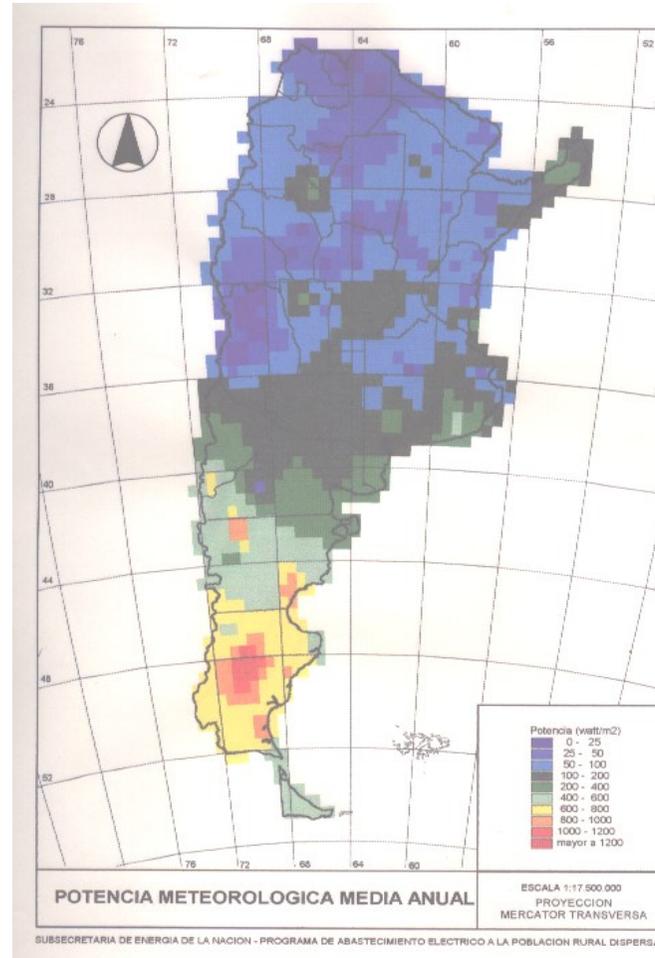
- **Energía eólica** – Como entra en juego la meteorología?



- **Energía eólica** – Como entra en juego la meteorología?

## Disponibilidad del recurso en Argentina:

Conocer el viento y sus variaciones por lo menos en la escala temporal de vida útil del emprendimiento

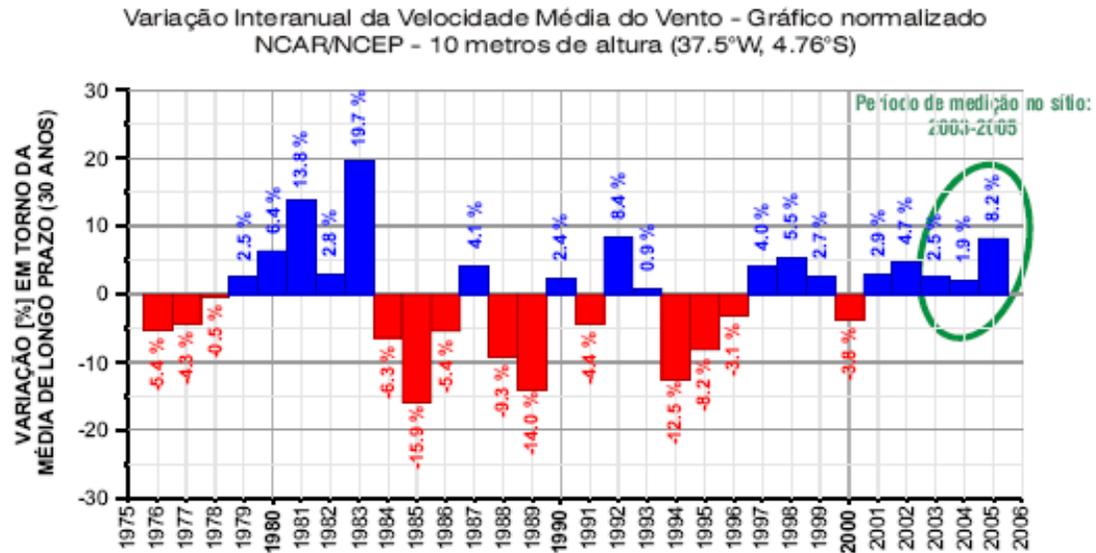


- El mapa de densidad de potencia (Watt/m<sup>2</sup>) media anual señala un máximo entre 48 y 49°S y en algunas otras regiones como Comodoro Rivadavia y el NO de la prov. de Chubut.
- En general al N de los 40°S la potencia es menor a los 100watt/m<sup>2</sup>, salvo regiones aisladas
- Energía eólica. Parte1: Descripción y evaluación.
- Barros, Frumento, Camilloni y Rivero- 1997



- **Energía eólica** – Como entra en juego la meteorología?

## Variabilidad interanual



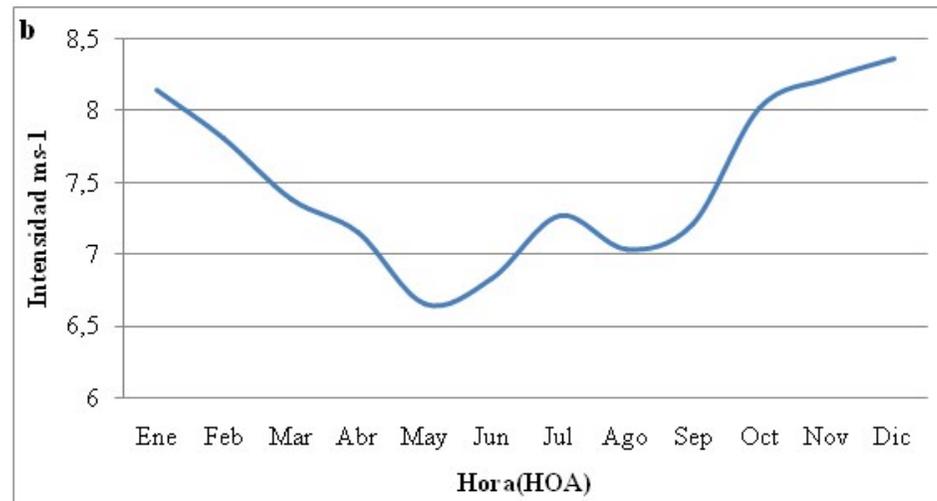
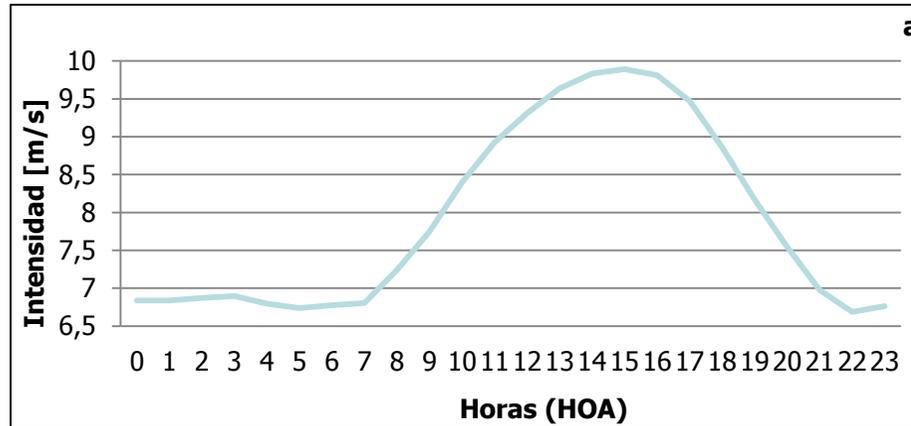
## Variabilidad horaria

¿¿Carácter aleatorio del viento??

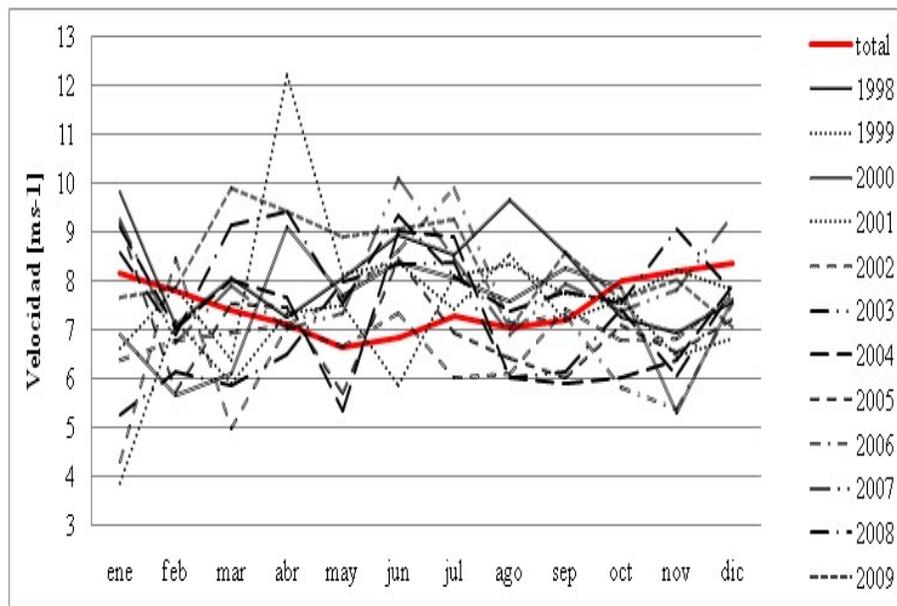


- **Energía eólica** – Como entra en juego la meteorología?

### San Julián



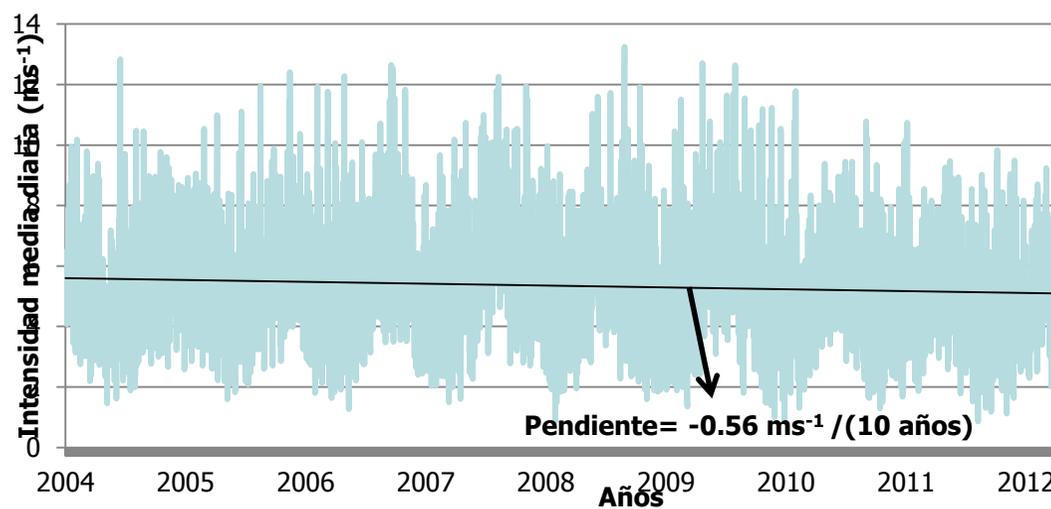
- **Energía eólica** – Como entra en juego la meteorología?



San Julián

Trelew

*Figura 5: Tendencia de los datos de intensidad de viento. (arriba) 1997-2003. (abajo) 2004-2012.*



- **Energía eólica** – Como entra en juego la meteorología?

## La potencia eléctrica del aerogenerador

$$P = \frac{1}{2} * C_p * \rho * A * U^3$$

$C_p$ : rendimiento de la turbina

$\rho$  : densidad del aire

$A$ : área barrida

$U$ : velocidad del viento a la altura del eje

$$6^3 = 216$$

$$6,5^3 = 275$$



**Energía eólica** – Como entra en juego la meteorología?

**Decisión: manejo de la compra de energía en función de la generación por parte del sector eólico**

A nivel de compra de energía diaria, se duplican las ganancias diarias con un buen pronóstico a 1 o 2 días



- **Energía eólica** – Como entra en juego la meteorología?

# PRONÓSTICO DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EÓLICA



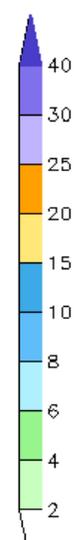
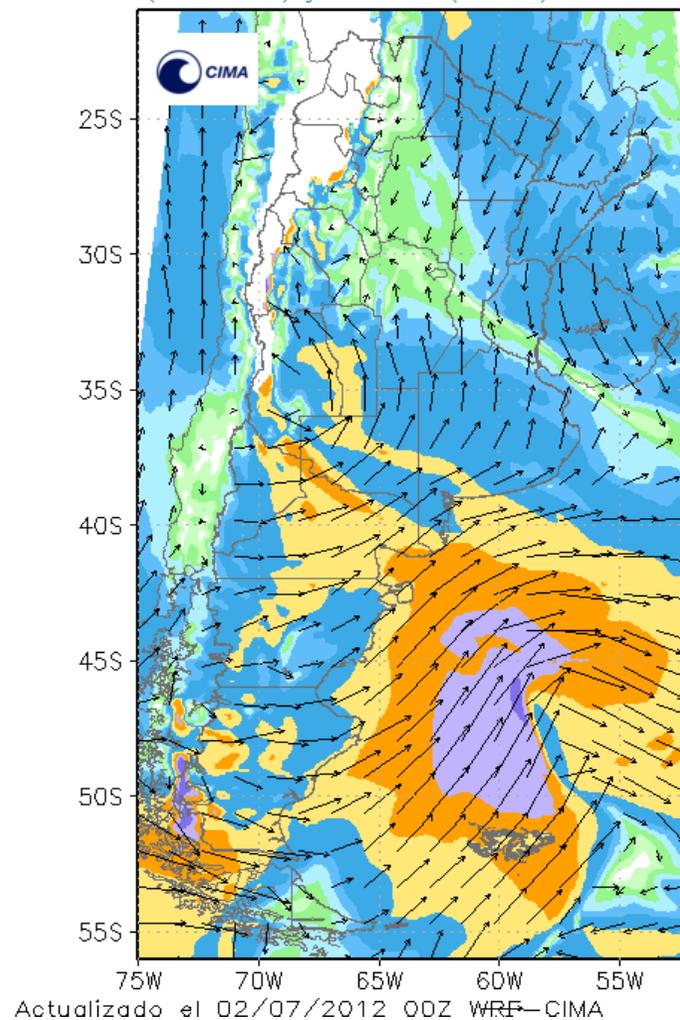
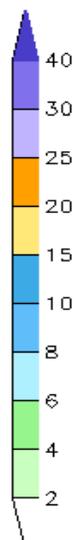
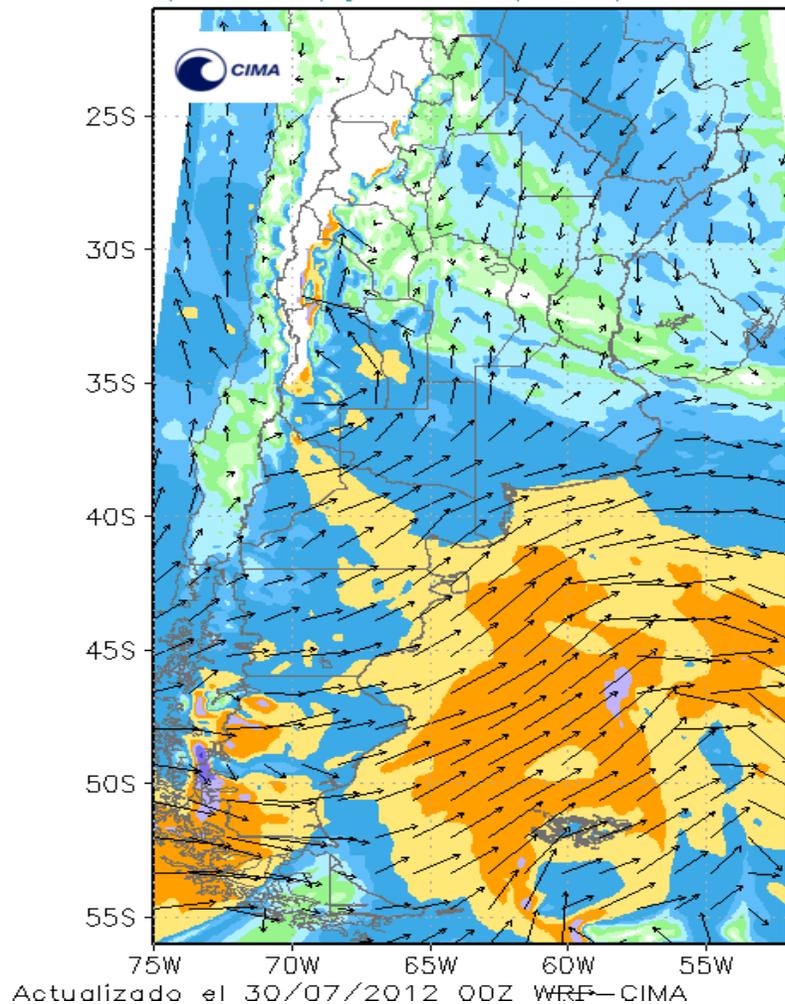
# Pronóstico numérico

Valido para el 02 de julio de 2012 a las 00Z

Intensidad (sombreado) y dirección (flechas) del viento a 70 metros (m/

Valido para el 02 de julio de 2012 a las 03Z

Intensidad (sombreado) y dirección (flechas) del viento a 70 metros (m/



## El impacto ambiental (-)



Área de posible generación eólica de acuerdo a redes existentes y futuras proyectadas para 2016.



Macronectes giganteus (petrel gigante)

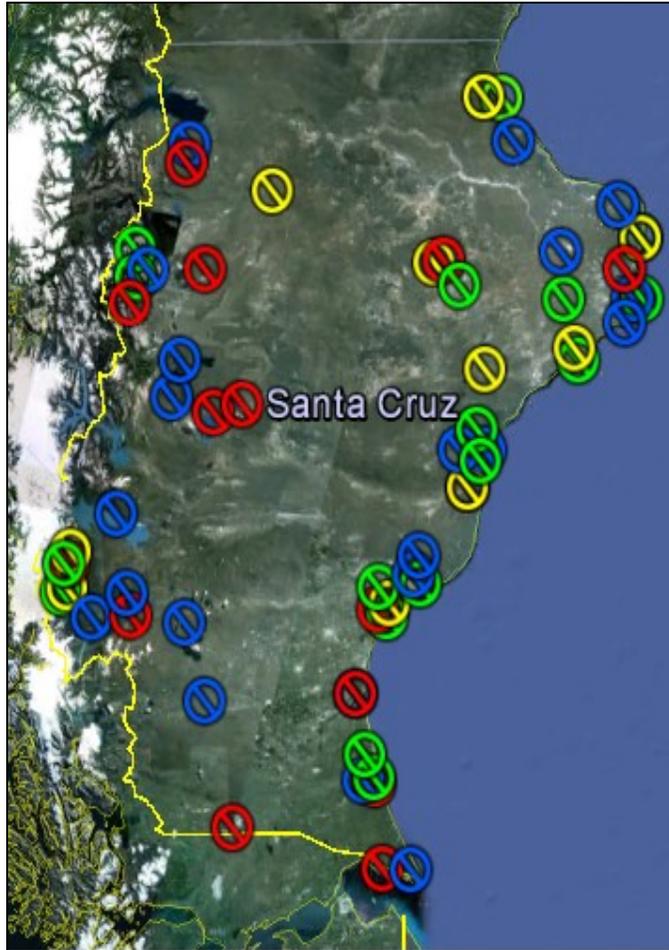


Podiceps gallardoi (Macá tobiano)

Caleta Olivia



## El impacto ambiental (-)



Sitios sensibles a los impactos por la instalación de parques eólicos en la provincia de Santa Cruz. Los colores representan:

- rojo:** Áreas Importantes para la Conservación de las Aves,
- azul:** humedales,
- verde:** Áreas Naturales Protegidas,
- amarillo:** yacimientos arqueológicos y paleontológicos.

## Impacto ambiental (+)

Según los cálculos realizados en un periodo de 20 años, los proyectos eólicos en la provincia de Santa Cruz podrían alcanzar una capacidad instalada de 1832 MW, permitiendo así lograr una reducción de GEI de aproximadamente 112 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> y obtener ésta misma cantidad de CERs requiriendo una inversión de 4,6 millones de dólares. ( depende del valor del CER)

Se denominan bonos de carbono a las Reducciones Certificadas de Emisiones de Gases Efecto Invernadero o CERs, por su sigla en inglés Certified Emission Reductions. El CER es la unidad que corresponde a una tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente. Son créditos que se transan en el Mercado del Carbono.





# Energía Solar

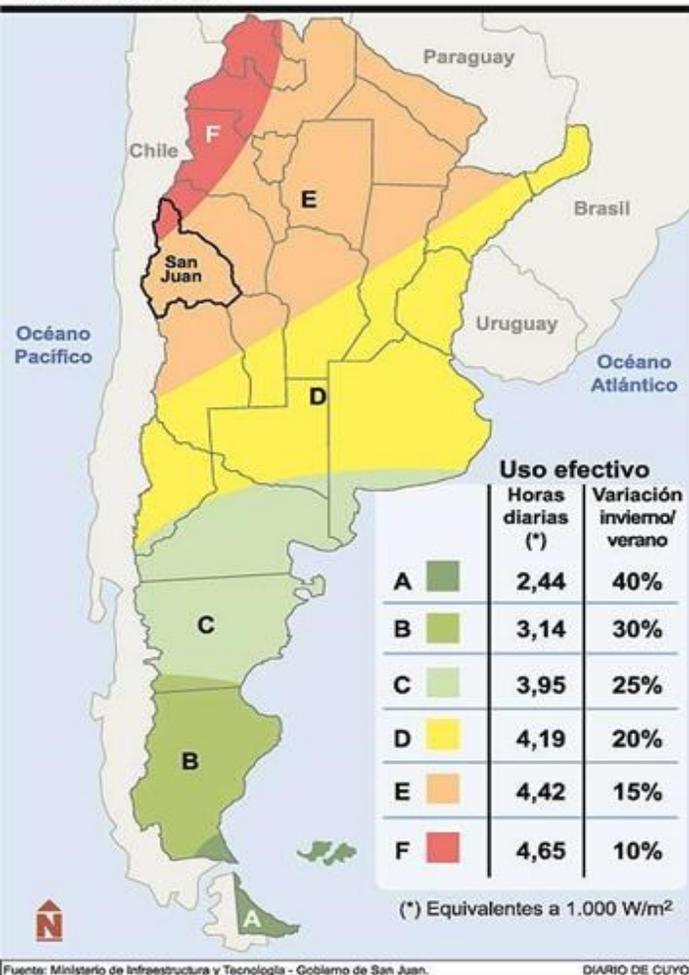
El recurso solar en el Noroeste de la Argentina es tan abundante que potencialmente podría abastecer a toda la demanda de energía eléctrica del país (excepto por el hecho de que la demanda se produce también durante la noche y el recurso solar está disponible obviamente de día, lo cual sugiere la prioridad de investigar sobre sistemas de almacenamiento de energía solar).

En el marco del desarrollo de las energías limpias de fuentes renovables, el impacto de la instalación de una planta de energía fotovoltaica sobre el ambiente es mínimo ya que el recurso utilizado para la generación de energía no produce efectos nocivos sobre el mismo.

- El flujo solar que incide sobre la Tierra puede ser utilizado para calentar agua, suministrar calefacción o para generar electricidad.
- La cantidad de energía solar registrada en un día soleado de verano, con cielo despejado y en una superficie de  $1 \text{ m}^2$  colocada en perpendicular al sol es de una potencia de  $1.000 \text{ W/m}^2$ , lo que equivale a  $1 \text{ Kwh/m}^2$  de energía cada hora de luz solar plena.
- Hay distintas formas de aprovechamiento de la energía solar:
  - »Sistema solar pasivo o arquitectura bioclimática: No necesita ningún dispositivo especial, tiene en cuenta la ubicación de la vivienda, su orientación, materiales de edificación para almacenar, capturar y distribuir la luz y el calor.
  - »Sistema solar activo: La energía es recogida por dispositivos artificiales denominados "colectores solares", recogiendo energía térmica o para generar electricidad mediante la conversión fotovoltaica utilizando "celdas fotovoltaicas".
- El uso de electricidad solar presenta como ventajas principales su producción limpia, es silenciosa y confiable.
- Aprovechamiento de la energía solar:
  - En forma autónoma, sin conexión a la red de distribución. Alimenta en forma individual al equipo que se quiere abastecer. Generalmente se utilizan baterías de almacenamiento para asegurar el abastecimiento de electricidad por la noche y en aquellos momentos del día en que los paneles solares no produzcan electricidad.
  - Conectada a la red de distribución pública.
  - De emergencia cubriendo las demandas de energía en el caso de realizarse un corte en el suministro eléctrico.

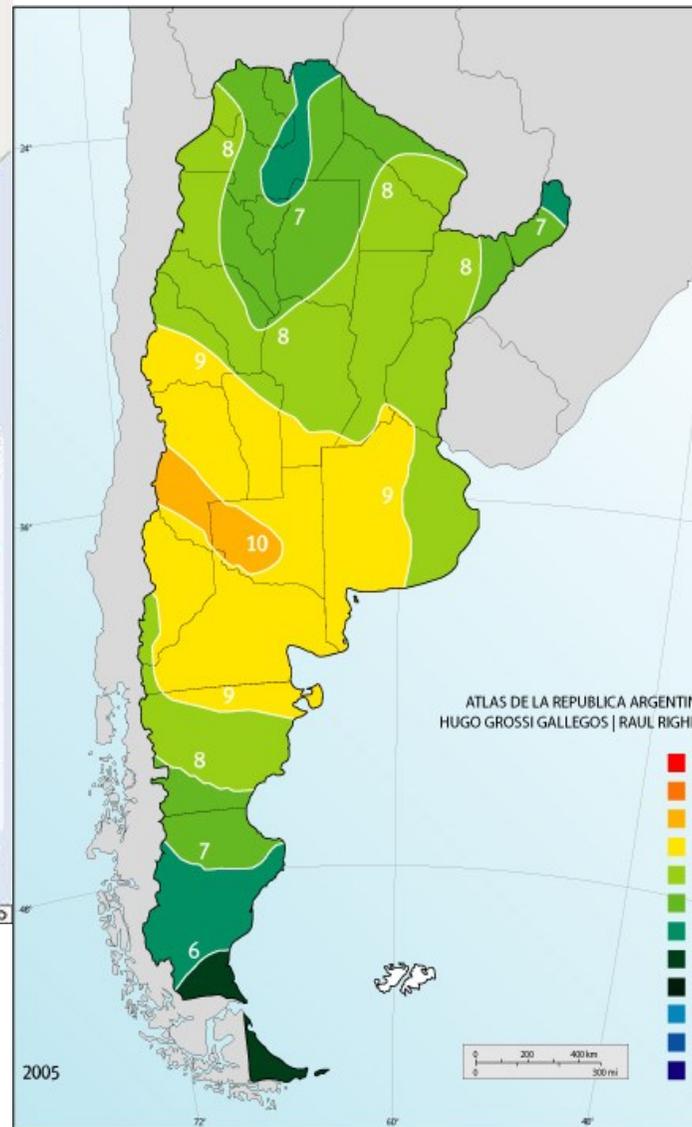
# Heliofanía

## Recurso solar

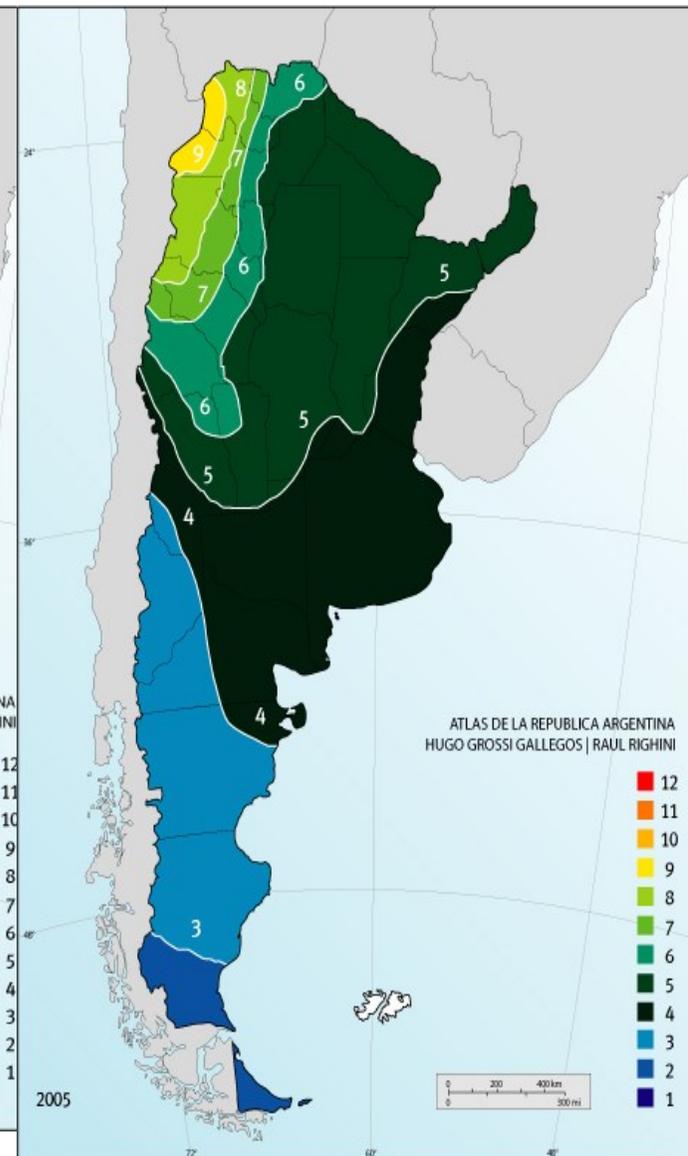


Fuente: Ministerio de Infraestructura y Tecnología - Gobierno de San Juan.

DIARIO DE CUYO

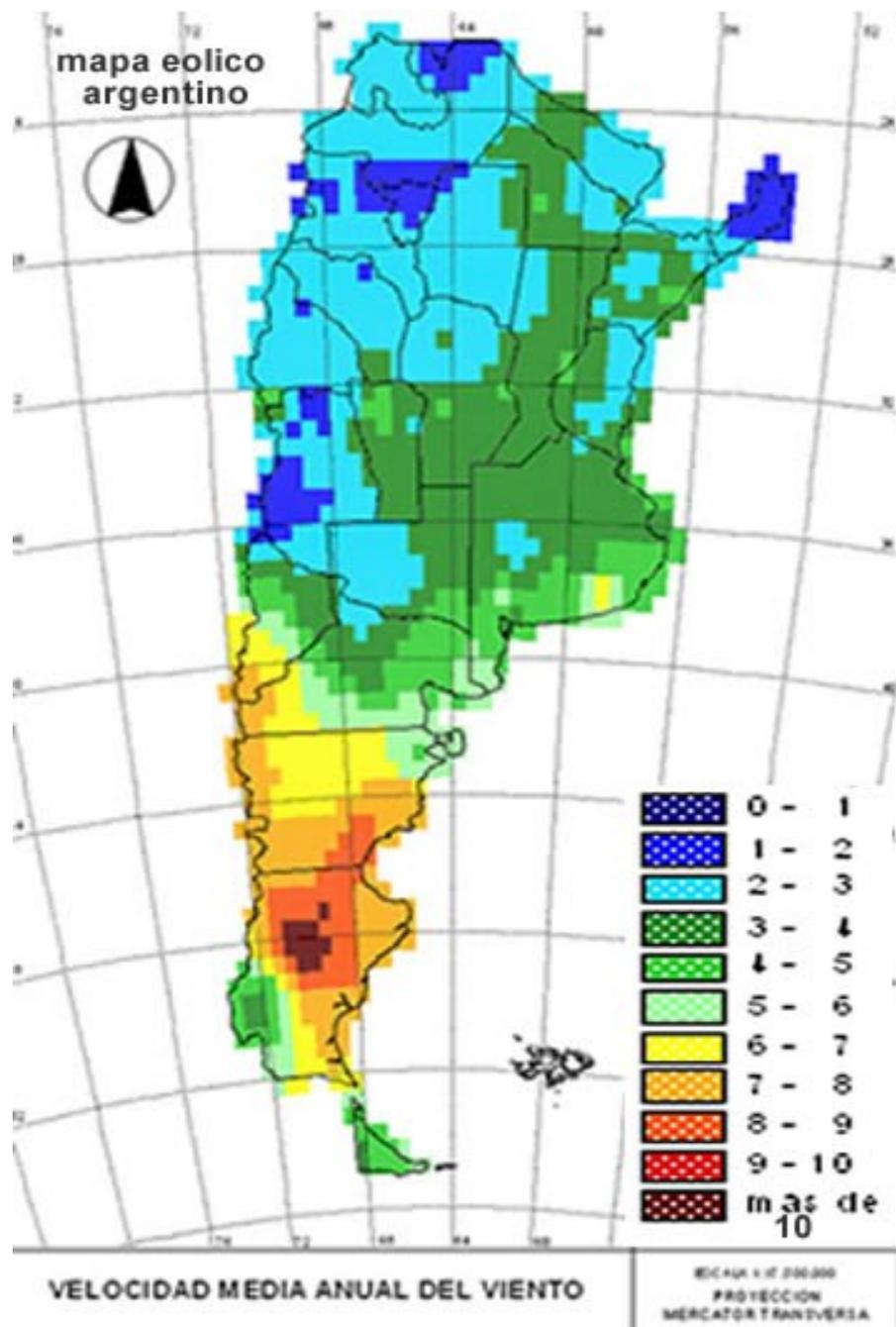
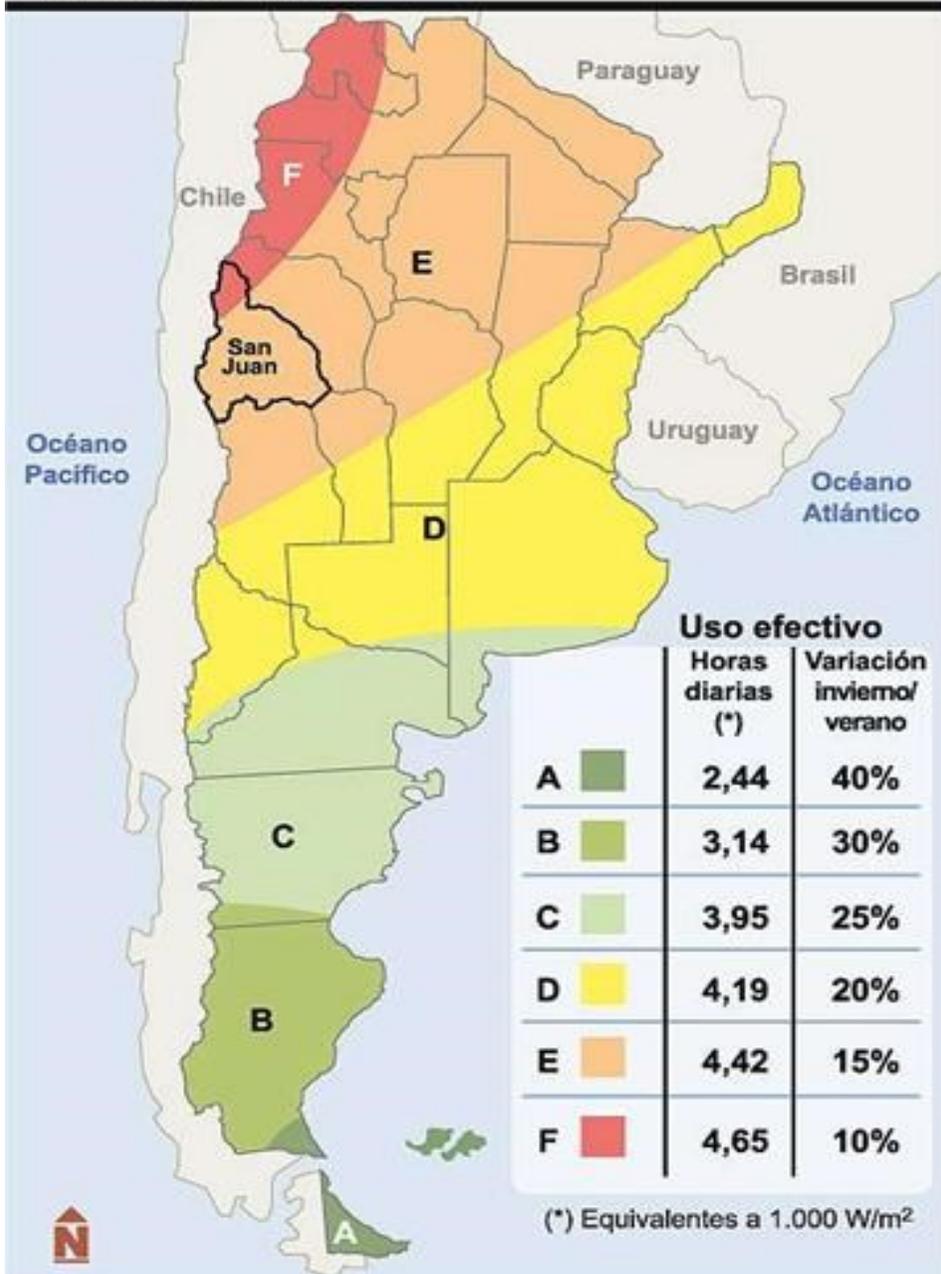


Enero

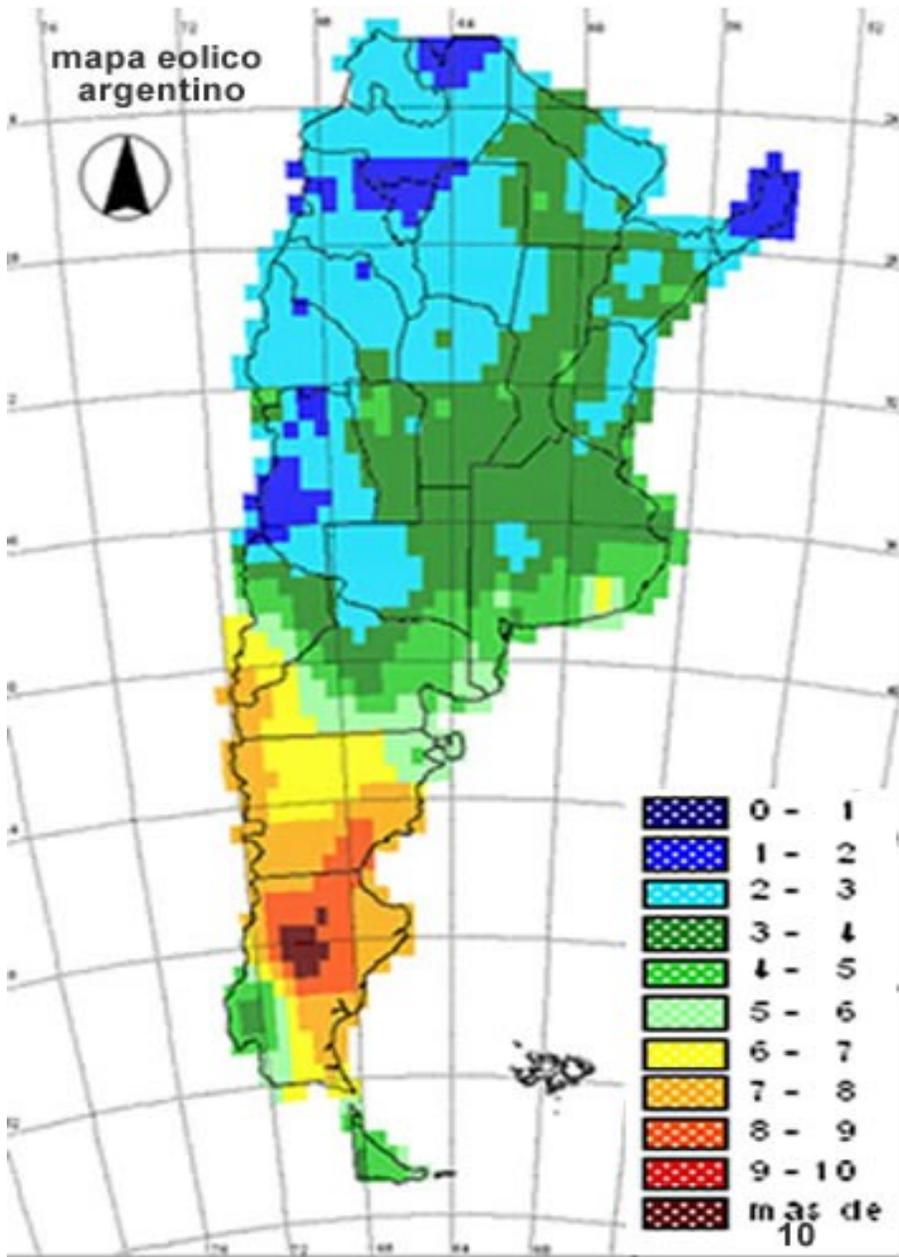


JULIO

# Recurso solar

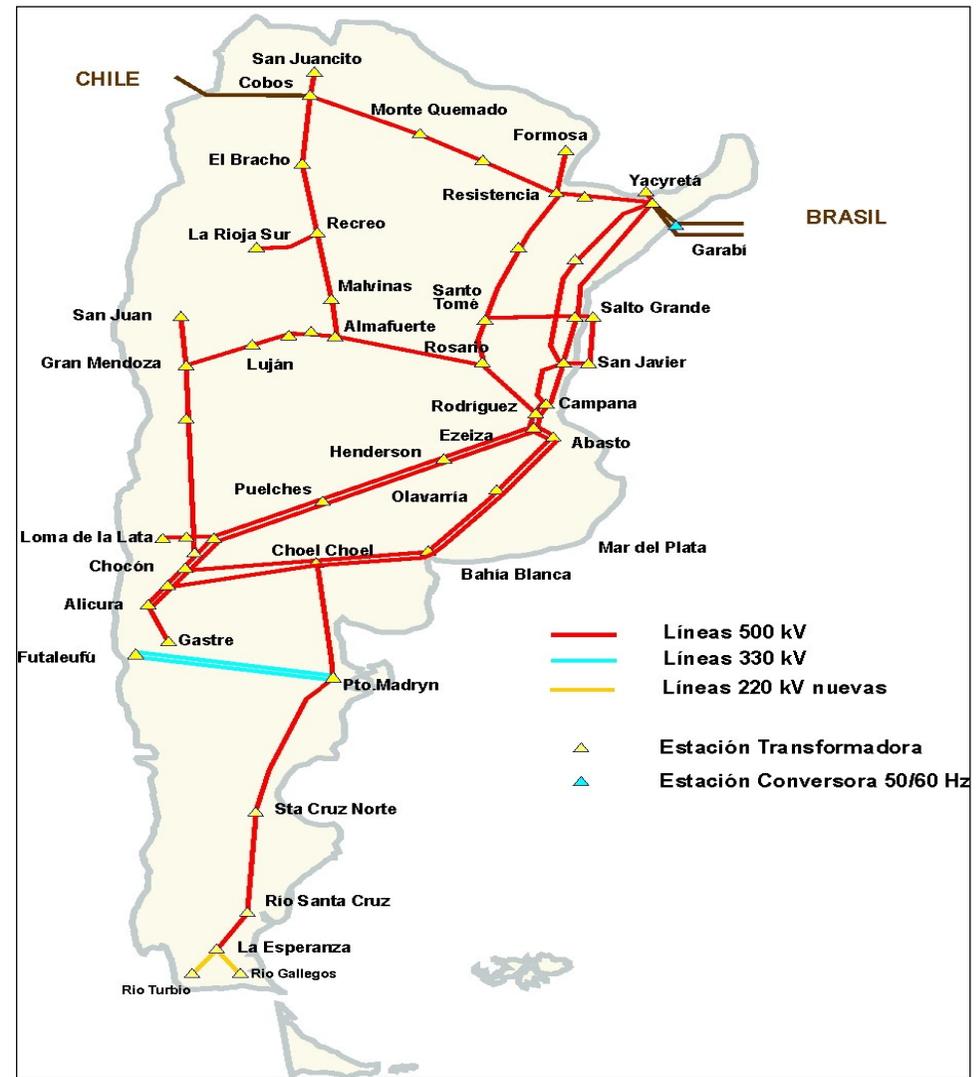


# mapa eolico argentino

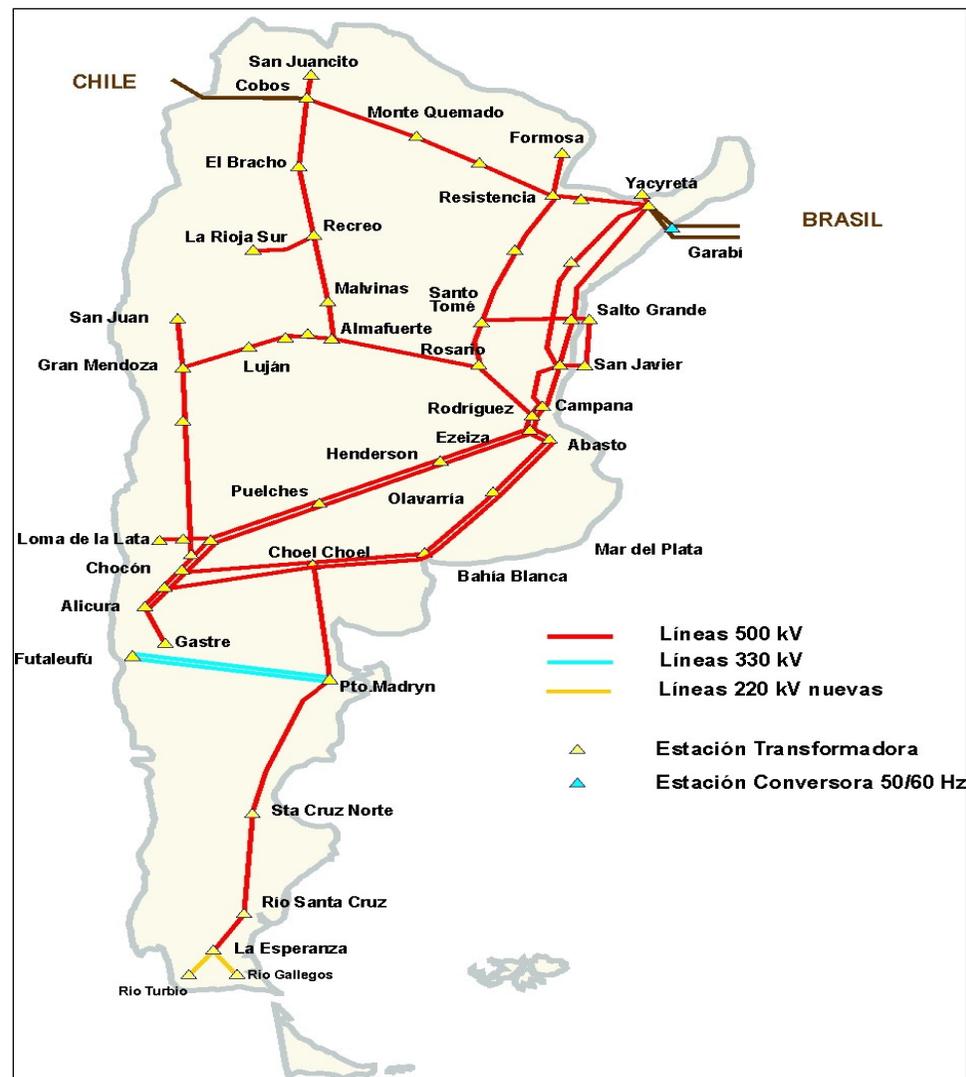
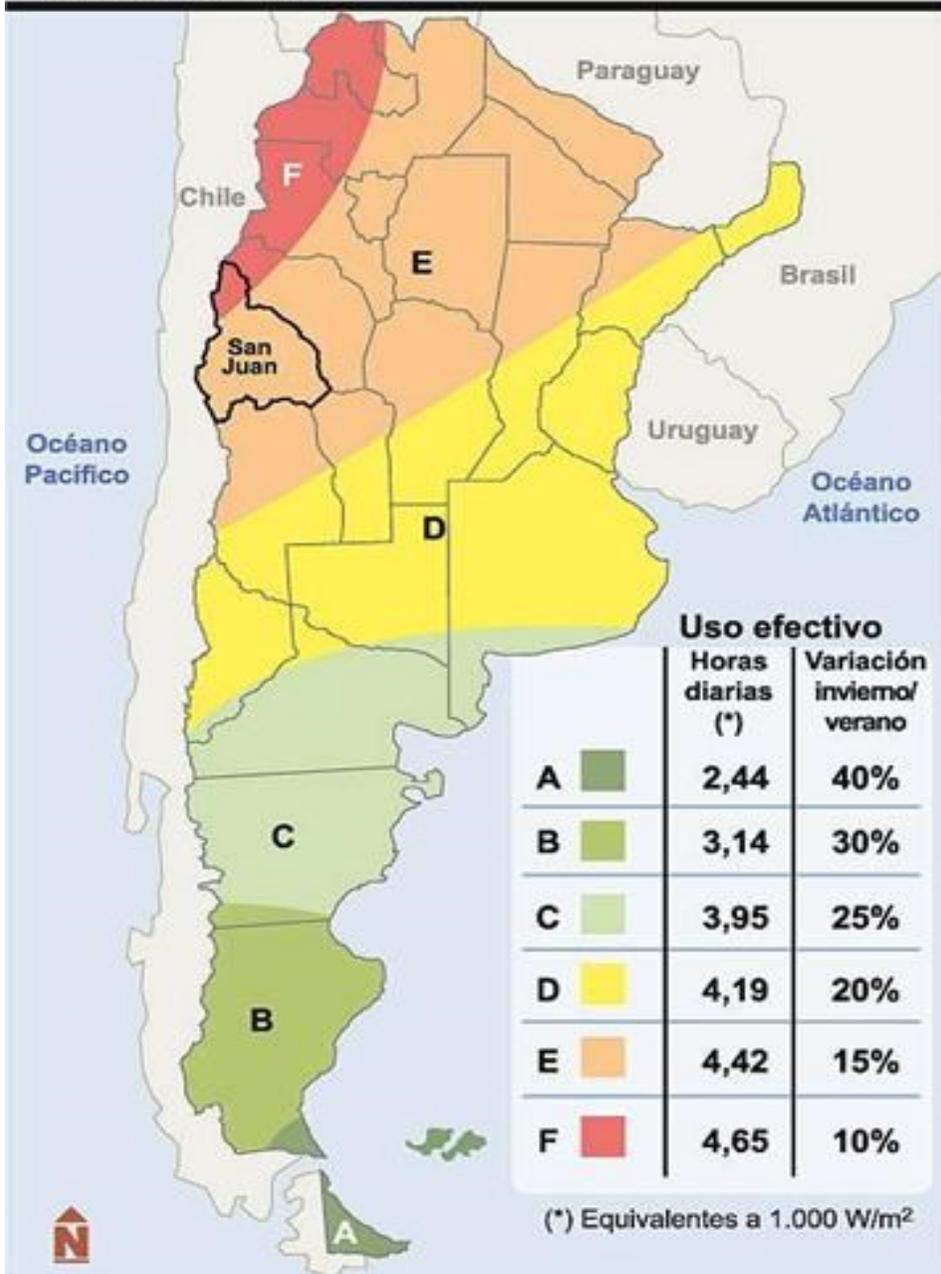


VELOCIDAD MEDIA ANUAL DEL VIENTO

ESCALA 1:1000000  
PROYECCION  
MERCATOR TRANSVERSA



# Recurso solar



# ¿Qué pasa con la energía del océano?



*The Great Wave off Kanagawa, Katsushika Hokusai*

# ¿Dónde sale la energía del océano?

La energía que guarda el océano es de  $3 \times 10^{20}$  J por año aproximadamente. La mayor disponibilidad de potencia (más de 60 KW por unidad de longitud de cresta: KW/m) se encuentra aguas afuera, a más de 100km de distancia de la costa. Por el contrario, cerca de la costa, la potencia teórica es inferior a 20 KW/m.

La mayor parte de la energía que contiene el océano corresponde a la térmica. El océano es un gran acumulador de energía solar.

La Potencia Osmótica es otra forma de obtener energía. Es la energía obtenida por la diferencia en la concentración de la sal entre el agua de mar y el agua de los ríos mediante los procesos de ósmosis.

El movimiento del agua en el océano nunca se detiene, es producto de las corrientes y las olas que mueven el agua de un lugar a otro y es otra forma de obtener energía.

Estas corrientes son producidas por:

- el viento (corrientes en la superficie)
- variaciones de densidad -temperatura y salinidad- (corrientes profundas)
- variaciones de altura del nivel del mar (en superficie)
- la marea

Estas corrientes pueden ser aprovechadas para obtener energía, lo mismo que con la energía eólica, o la hidráulica.

Se pueden y se desarrollaron diferentes diseños para obtener energía a partir del movimiento del agua o a partir de la energía térmica.

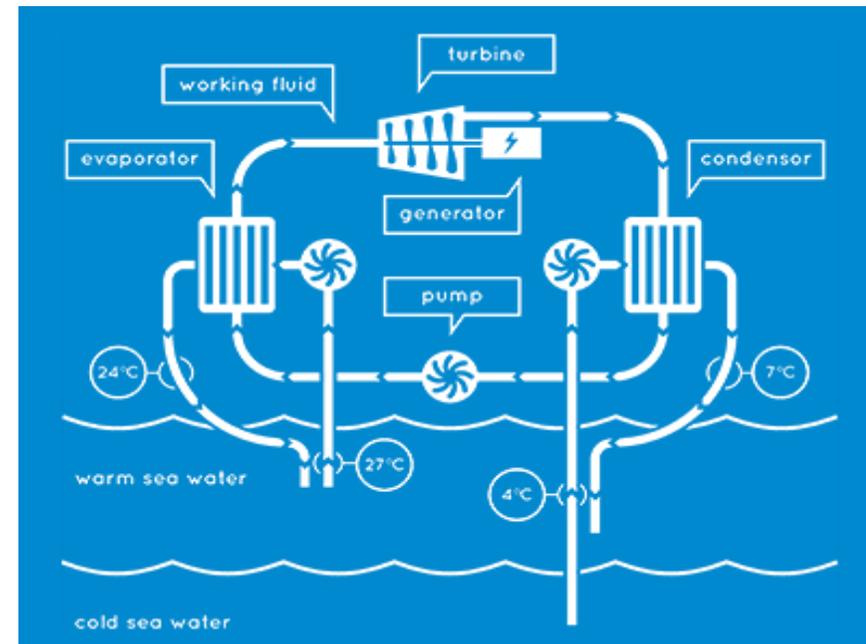
Veamos diferentes casos

# Energía térmica del océano

- OTEC. Ocean Thermal Energy Conversion

<http://www.otecnews.org/what-is-otec/>

Se utiliza agua caliente de la superficie del mar, con una temperatura de unos 25 ° C para vaporizar un fluido, que tiene un punto de ebullición bajo, como el amoníaco. El vapor se expande y hace girar una turbina acoplada a un generador para producir electricidad. El vapor se enfría luego con agua de mar que ha sido bombeada desde la capa de océano más profundo, donde la temperatura es de aproximadamente 5 ° C. El agua fría condensa el fluido que vuelve al estado líquido y puede ser reutilizados. Este es un ciclo de generación de electricidad continua.

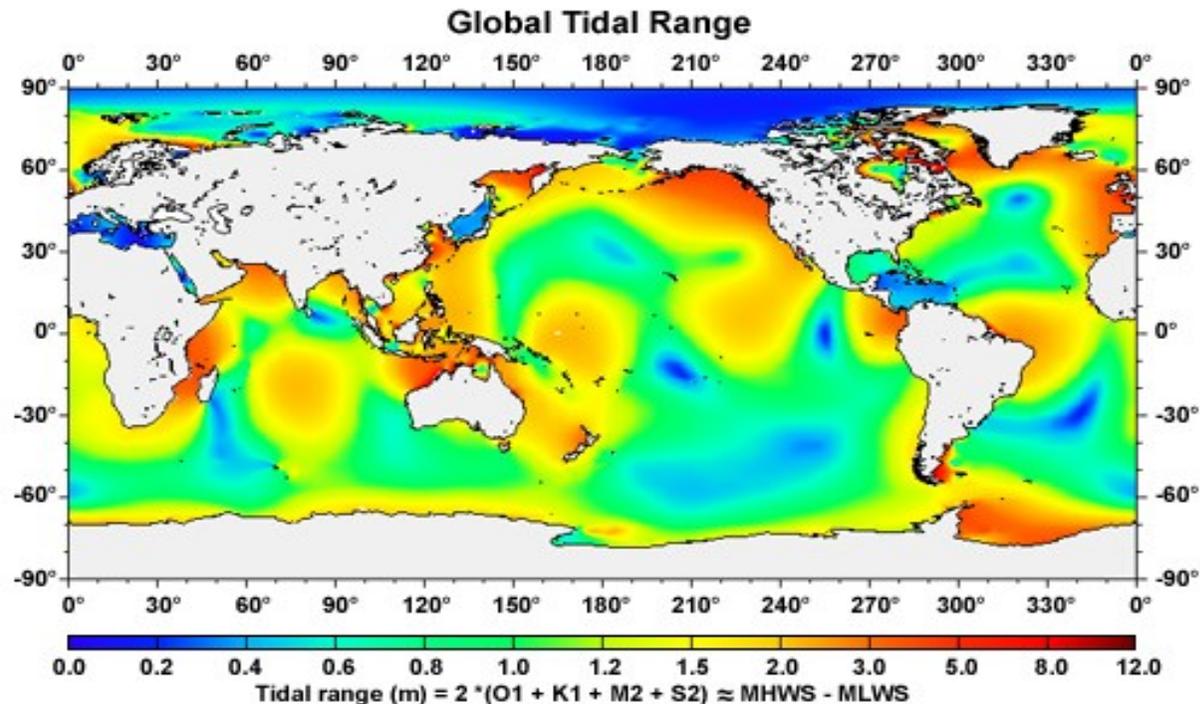


# Energía de las olas

- Olas de Viento, son provocadas por el forzante meteorológico, en el mismo lugar (mar local) o en un lugar más lejano (mar de fondo). Se trata de ondas cortas ( $\lambda=100$  m)
- Los tsunamis, son provocadas por sismos, desplazamientos de tierra o erupciones volcánicas. Estas ondas se nombran como ondas largas. ( $\lambda= 100$  Km)
- Mareas provocadas por el forzante astronómico; estas son ondas muy largas. ( $\lambda=10.000$  Km)

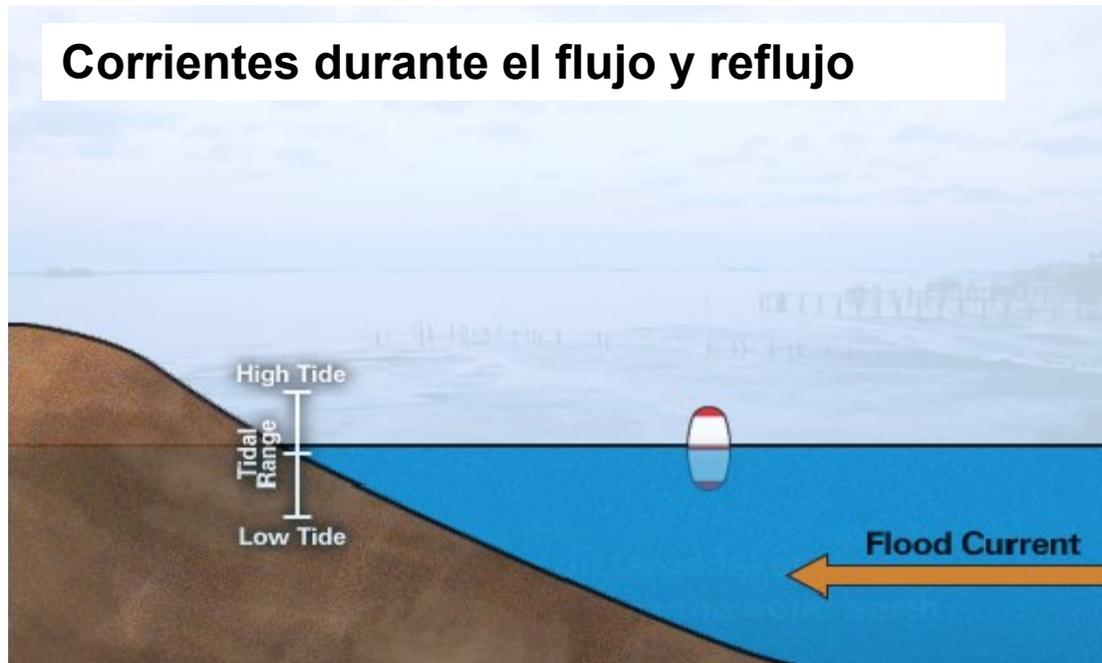
# Energía de la marea

- La marea hace ascender y descender el nivel del agua (amplitud de la marea) gracias a la atracción de los astros (la luna, el sol, etc.). El ciclo de la marea es diurno o semi diurno, según el lugar. El ascenso y descenso generan corrientes.



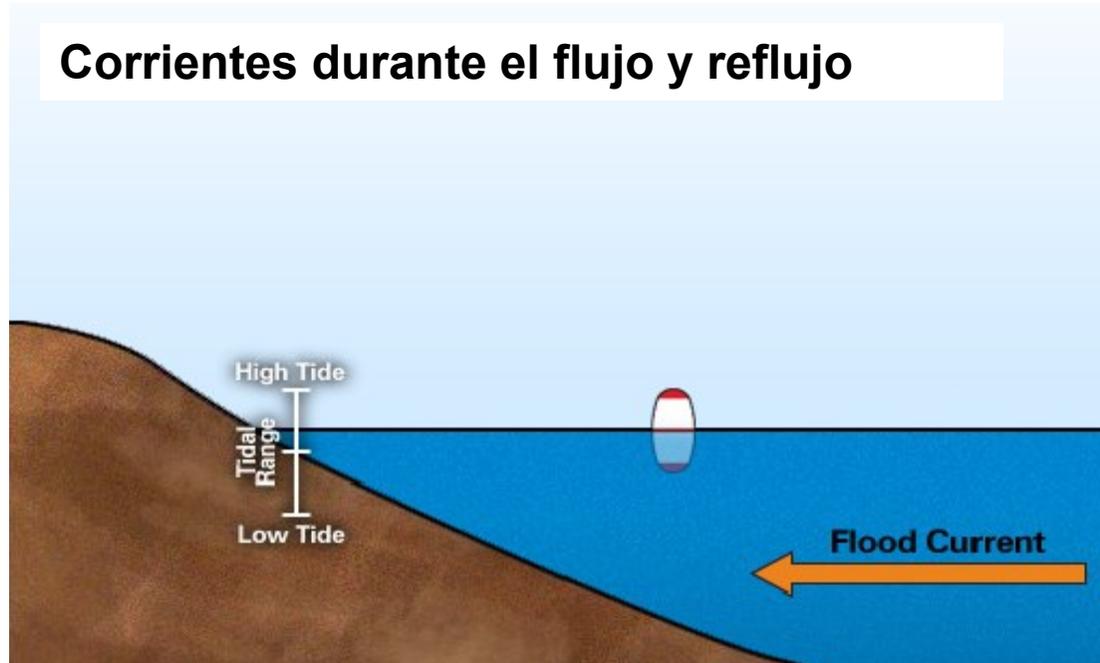
Courtesy of James Chittleborough, National Tidal Centre, BoM  
Copyright Commonwealth of Australia, reproduced by permission

Durante un ciclo de marea en el océano el nivel del agua sube durante el flujo...

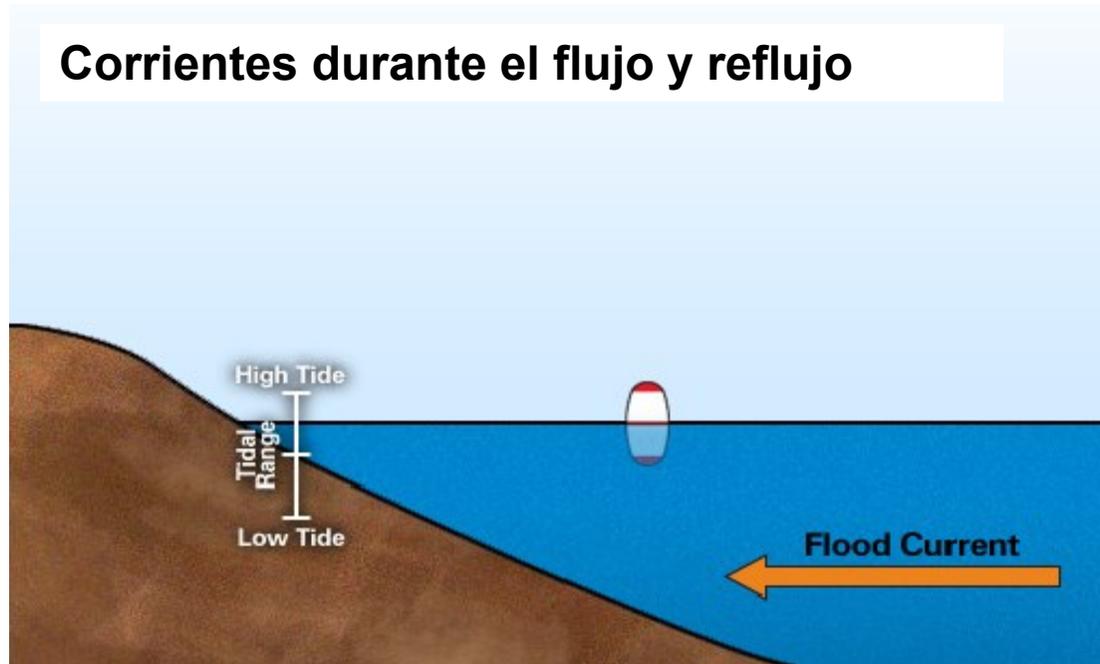


Durante un ciclo de marea en el océano el nivel del agua sube durante el flujo...

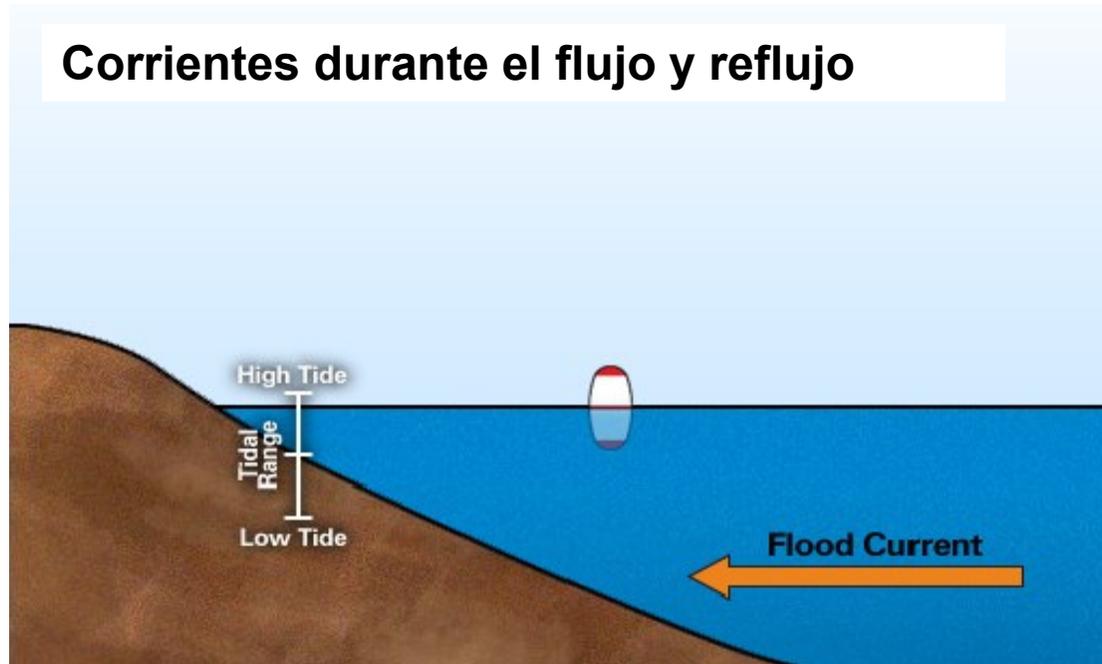
### Corrientes durante el flujo y reflujo



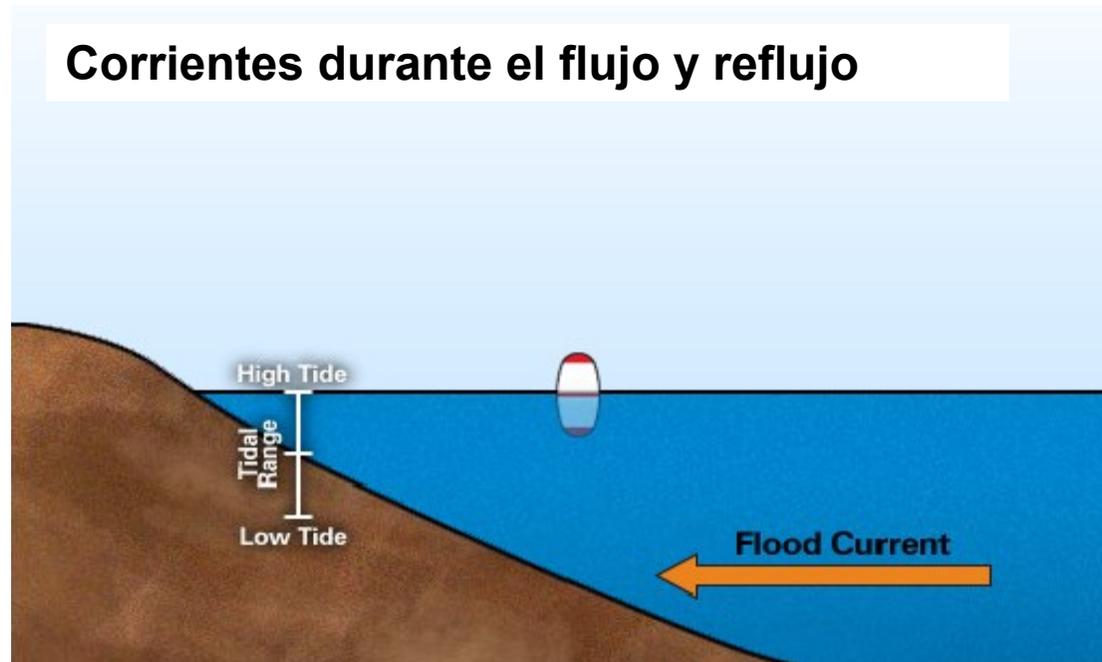
Durante un ciclo de marea en el océano el nivel del agua sube durante el flujo...



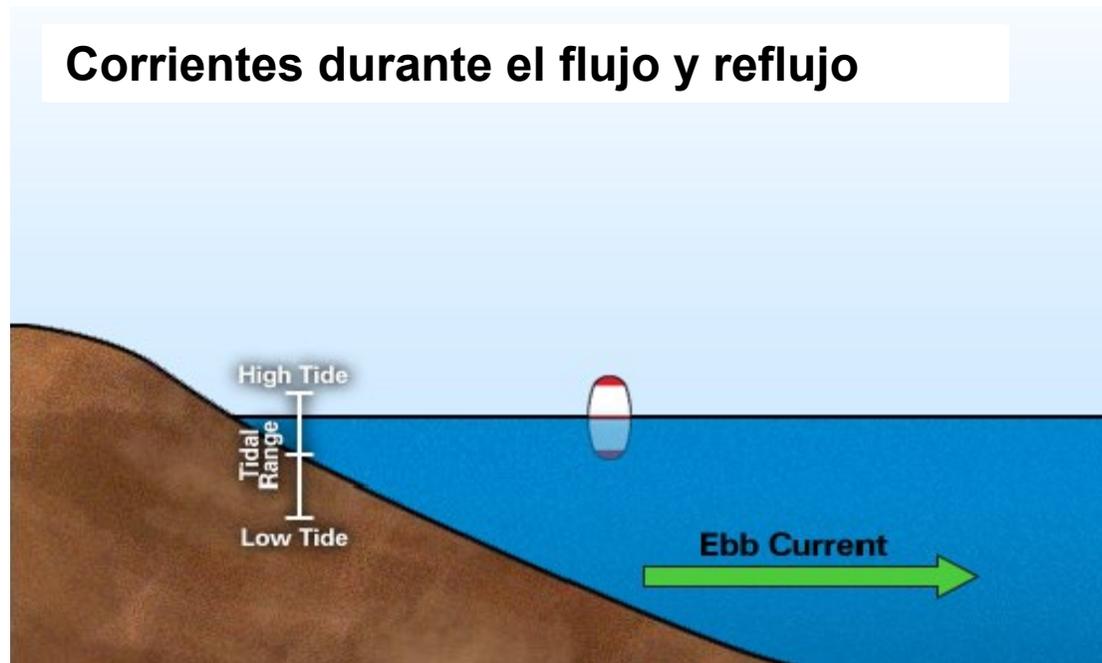
Durante un ciclo de marea en el océano el nivel del agua sube durante el flujo...



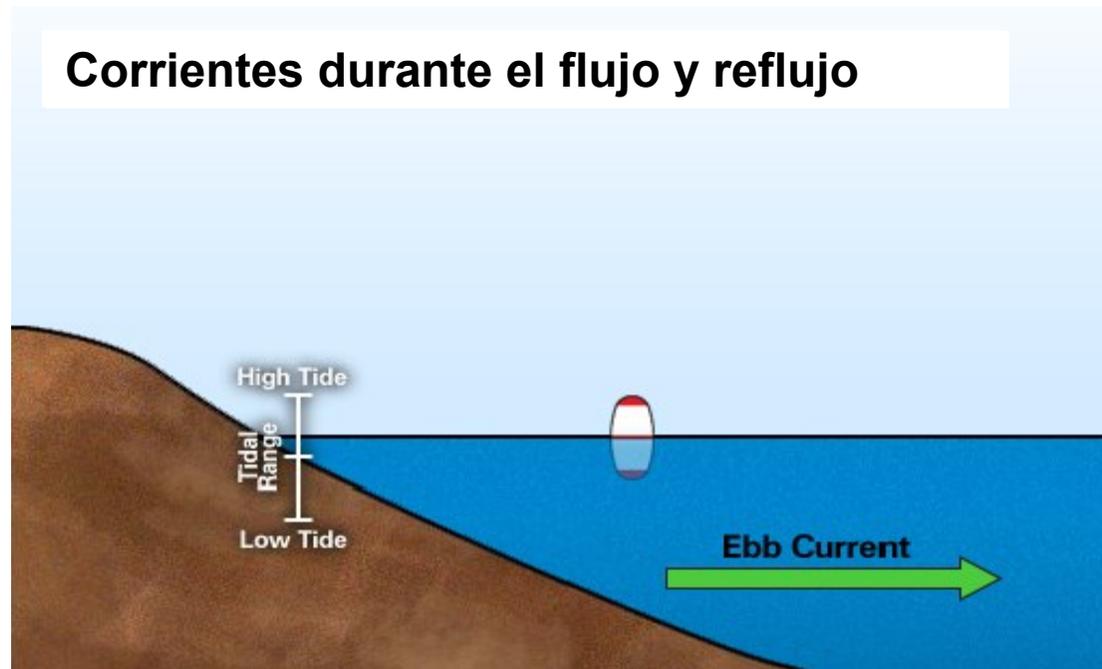
Hasta que se alcanza un nivel máximo llamado marea alta



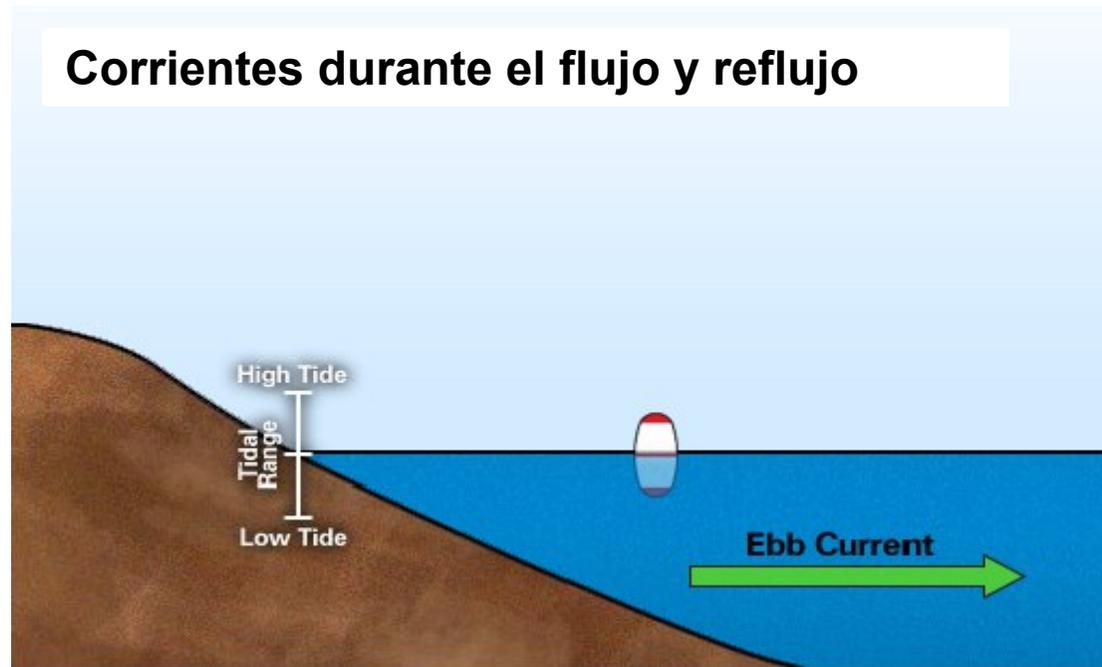
Entonces comienza el reflujó y el nivel del mar comienza a bajar...



Entonces comienza el refluo y el nivel del mar comienza a bajar...



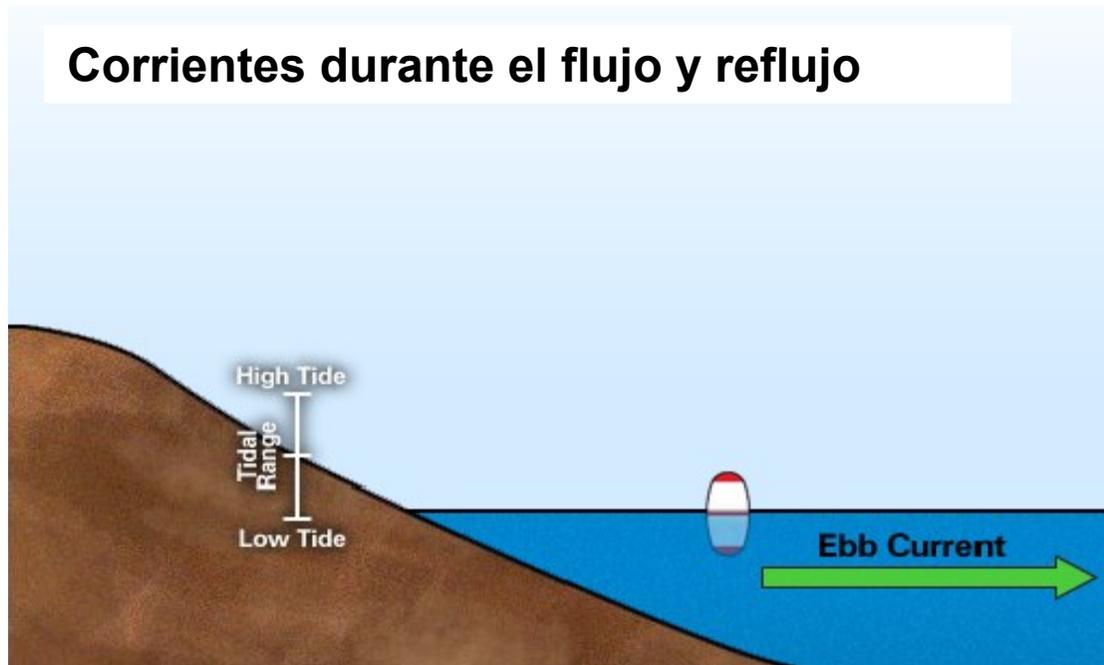
Entonces comienza el refluo y el nivel del mar comienza a bajar...



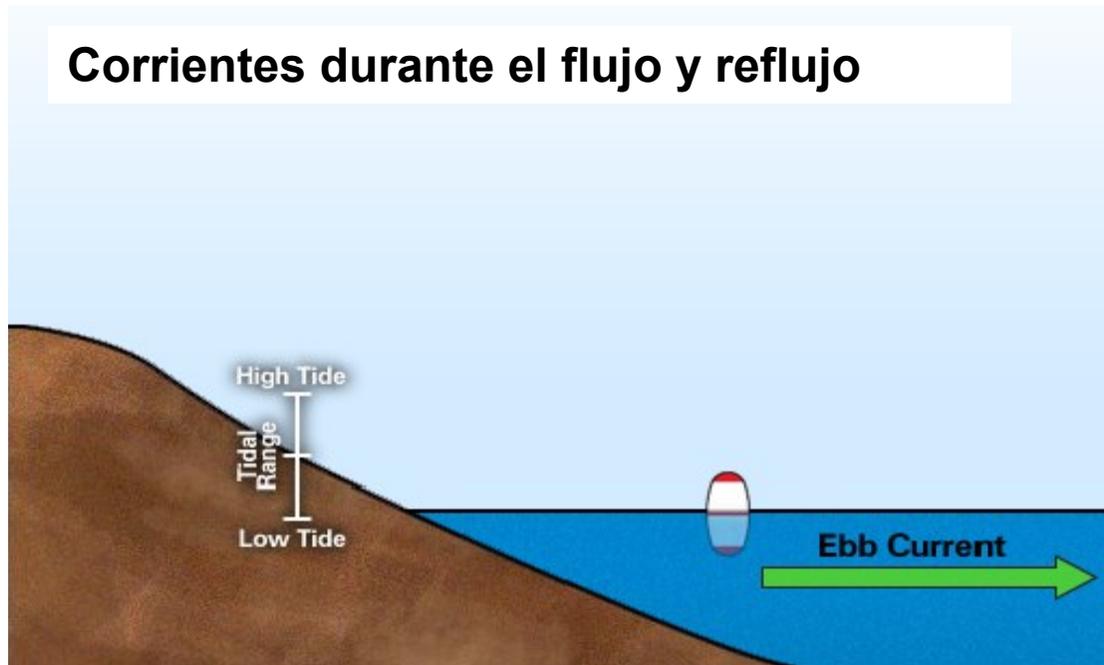
Entonces comienza el reflujó y el nivel del mar comienza a bajar...



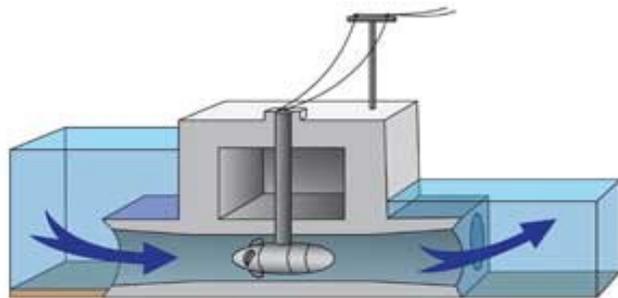
Hasta que se alcanza un nivel mínimo llamado bajamar



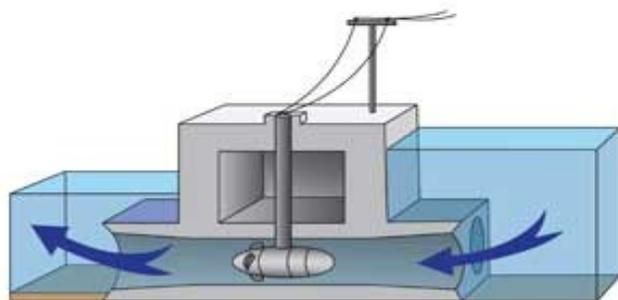
La diferencia entre la altura máxima y la altura mínima de la marea se llama amplitud de marea o rango de marea



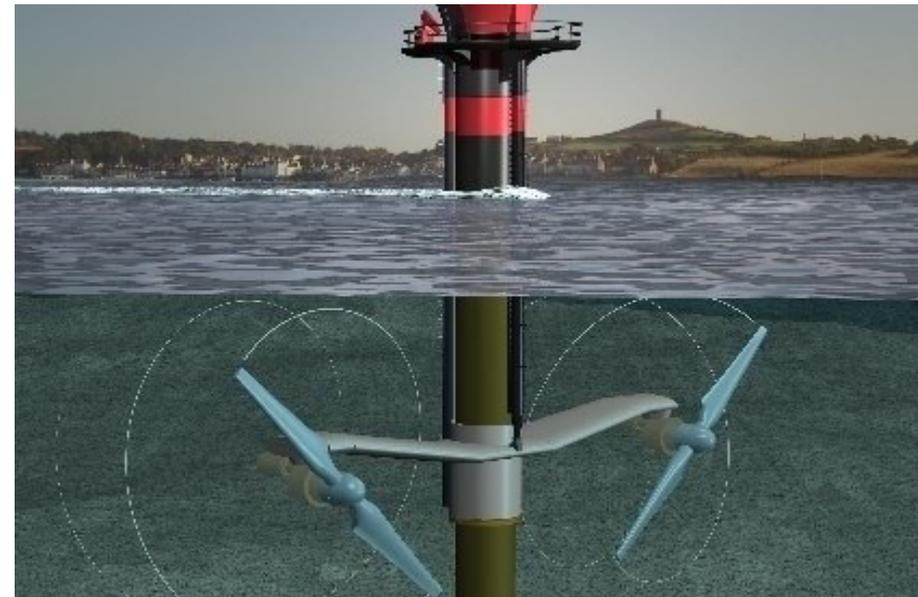
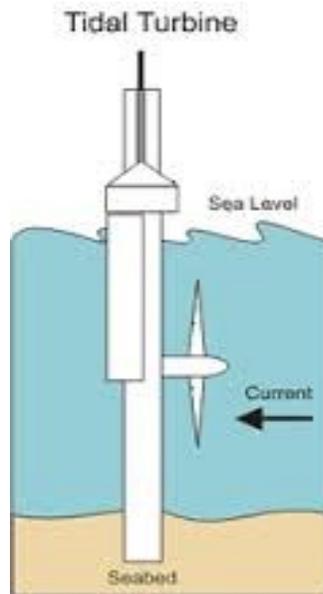
Luego se instalan hélices y generadores para obtener energía a partir de las corrientes de marea que se generan...



Tide Coming In

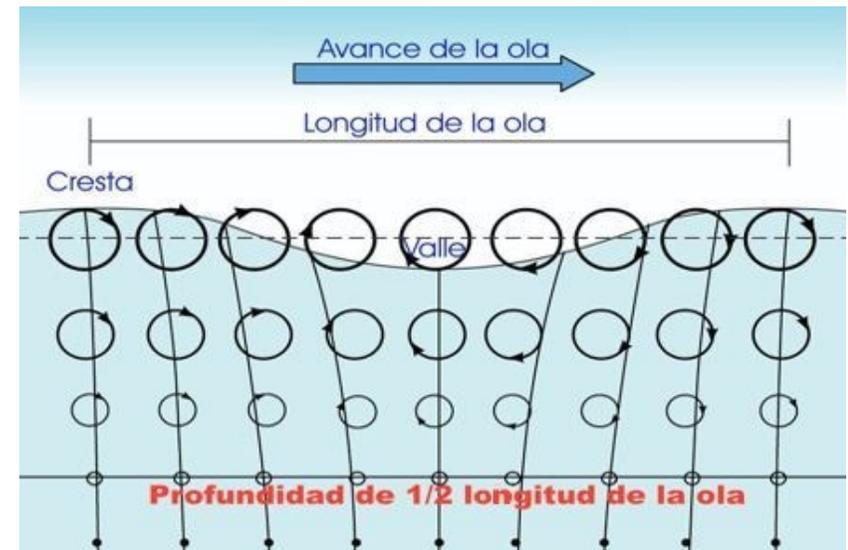


Tide Going Out

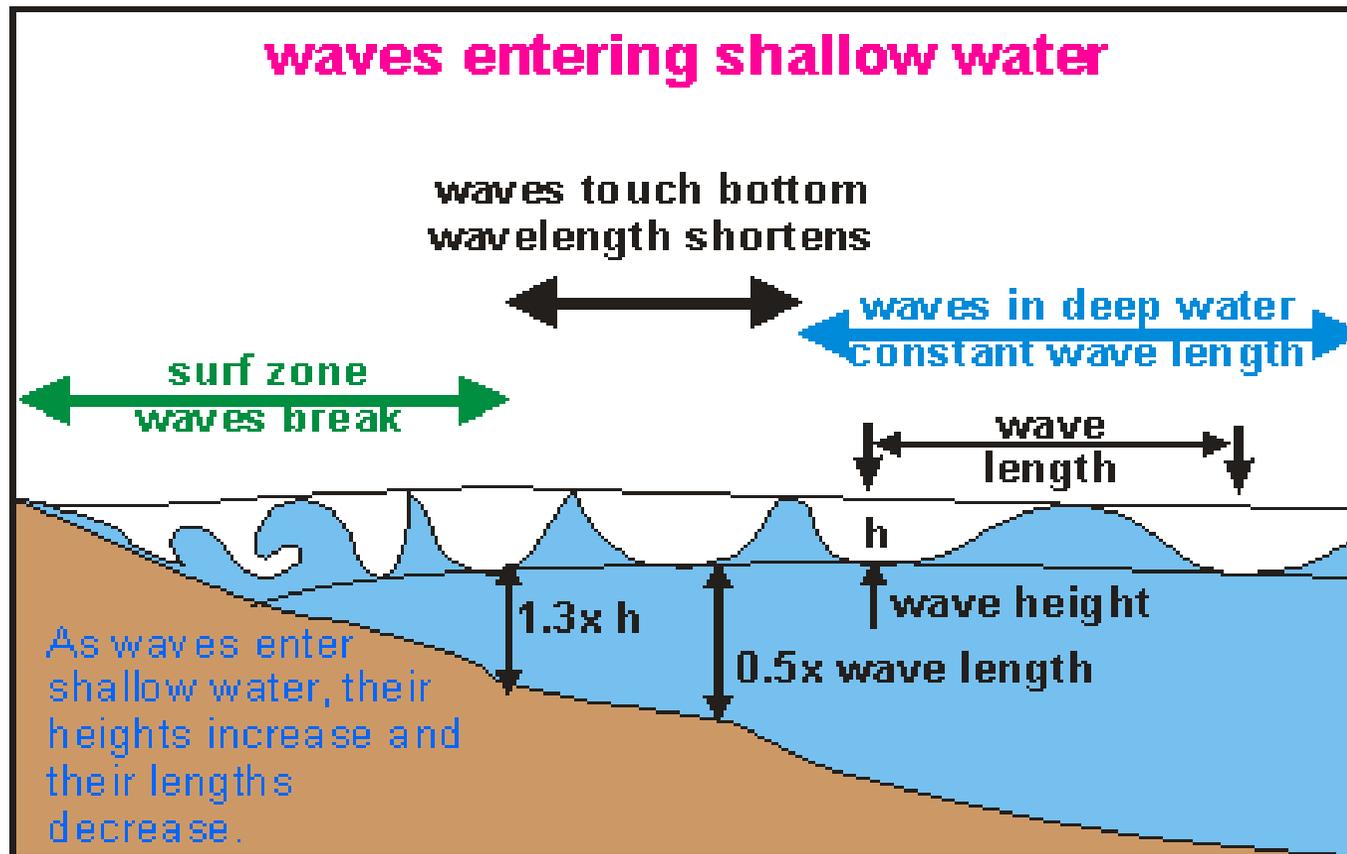


# Energía de las olas

- En el interior del océano, el agua asciende y desciende producto de las olas. Estas variaciones de nivel o altura pueden ser aprovechadas para obtener energía.



# Cuando llegan a la costa ...



## Pero veamos como obtener energía a partir de ellas

- Wave Energy Converter (WEC)

El flujo de energía por unidad de longitud de onda de cada cresta esta dado por la formula:

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_{m0}^2 T_e \approx \left( 0.5 \frac{\text{kW}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \right) H_{m0}^2 T_e,$$

En donde  $\rho$  es la densidad del agua,  $g$  la aceleración de la gravedad,  $H_{m0}$  es la altura significativa de la ola y  $T_e$  el período.

Una ola de 3 mts con un período de 8 segundos genera 36 kW/m.

# Distribución global de la potencia de olas. Los valores de potencia por unidad de longitud están dados en $\text{KWm}^{-1}$ .

Fuente: [www.wavedragon.net](http://www.wavedragon.net)

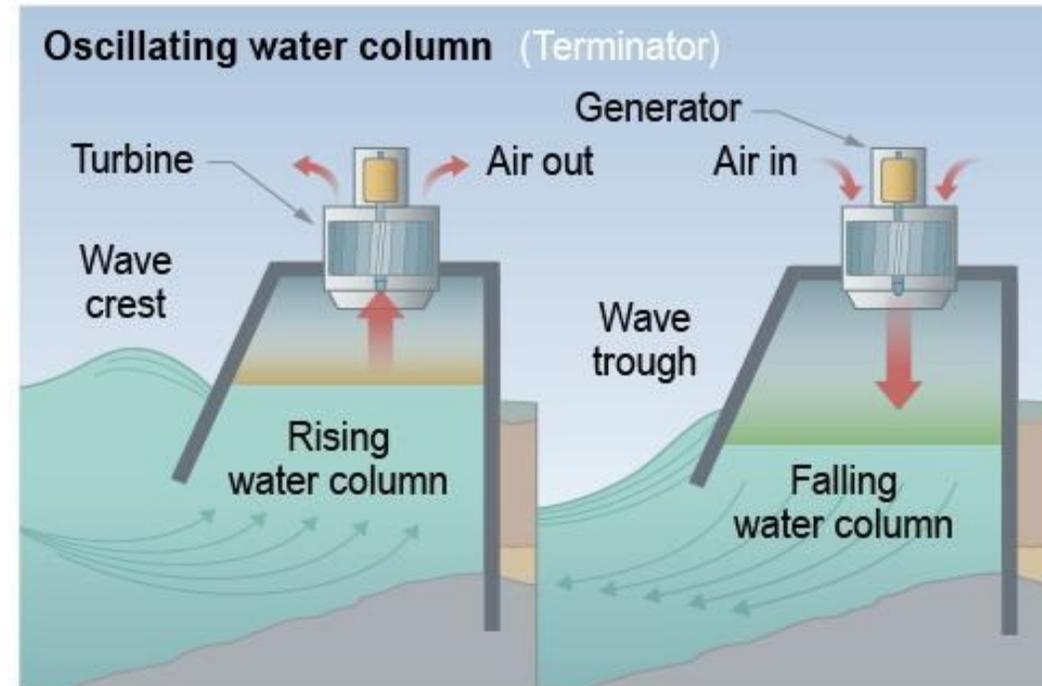


Fuente: <http://www.aw-energy.com>

*Los números indican el valor en  $\text{KWm}^{-1}$ .*

# Clasificación según el tipo de dispositivo

- **De columna de agua oscilante** (Oscillating Water Column OWC). Implica la utilización de un estanque abierto en la parte inferior, parcialmente sumergido en el agua superficial, de manera tal que el movimiento vertical de las olas produzca una diferencia de presión dentro del estanque, la cual es canalizada a turbinas para aire. Uno de los sistemas que mejor la representan es "Wavegen".

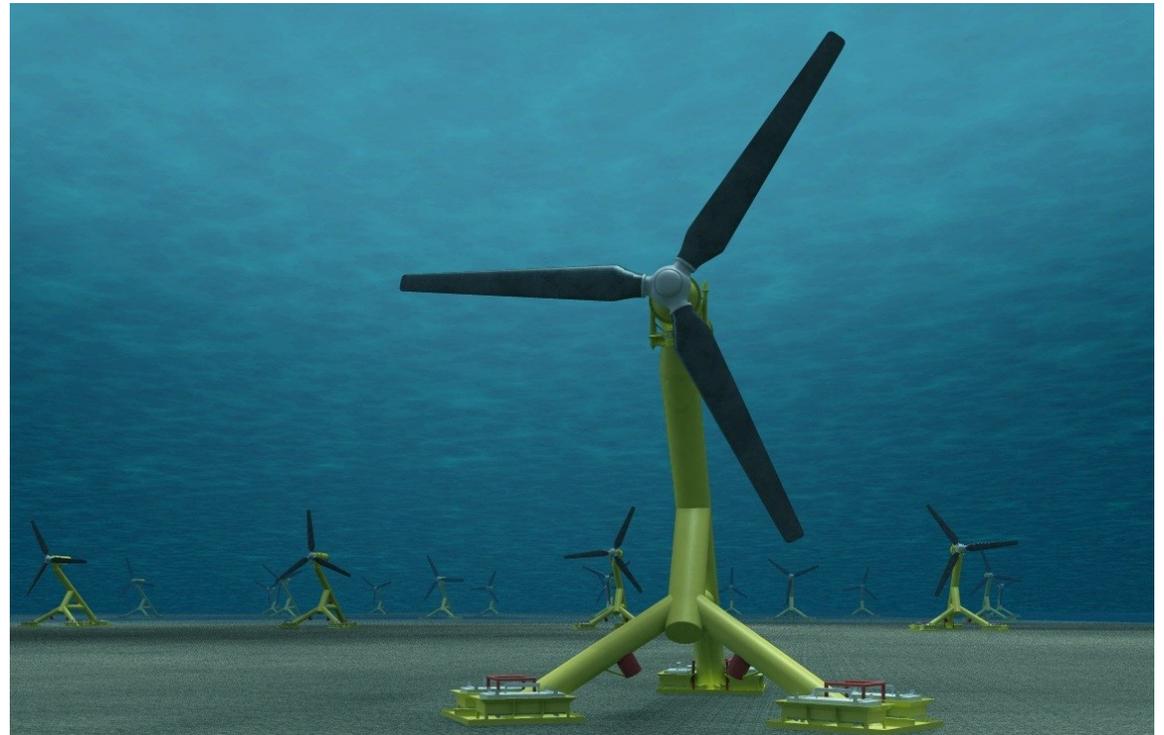


- **Un experimento sencillo para generar este tipo de energía:**

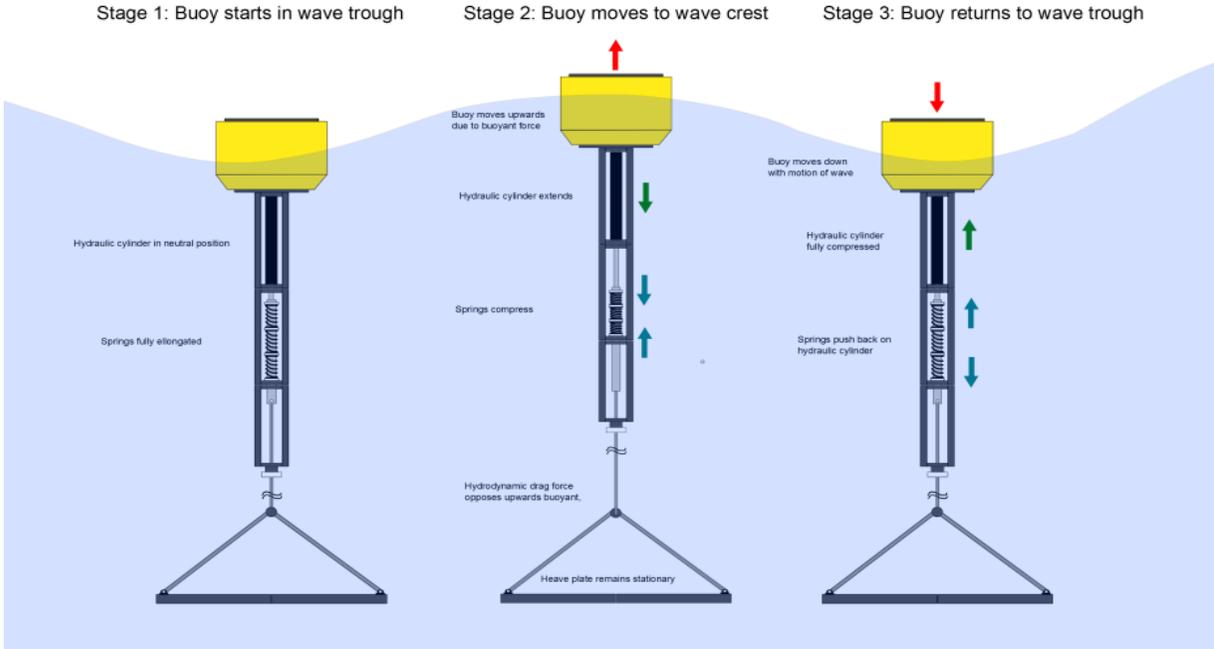
[http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_detailpage&v=mVQ3ZTli\\_Hs](http://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=mVQ3ZTli_Hs)



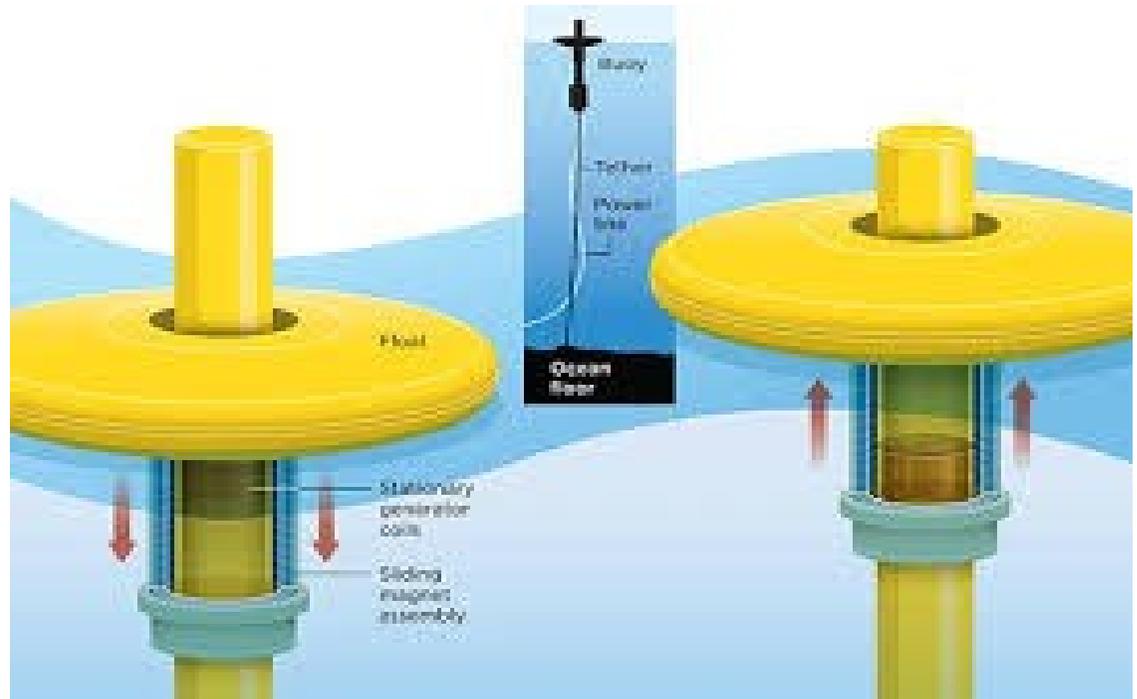
- **Dispositivos oscilantes.** Estos funcionan con un motor hidráulico, turbina hidráulica y un generador eléctrico lineal.



- **Boyas flotadoras.** Estas boyas contienen un sistema hidráulico el cual acciona un generador gracias al constante movimiento del oleaje ya que éste hace que se genere un movimiento relativo entre el mástil y el flotador. La salida eléctrica se lleva hasta una subestación.



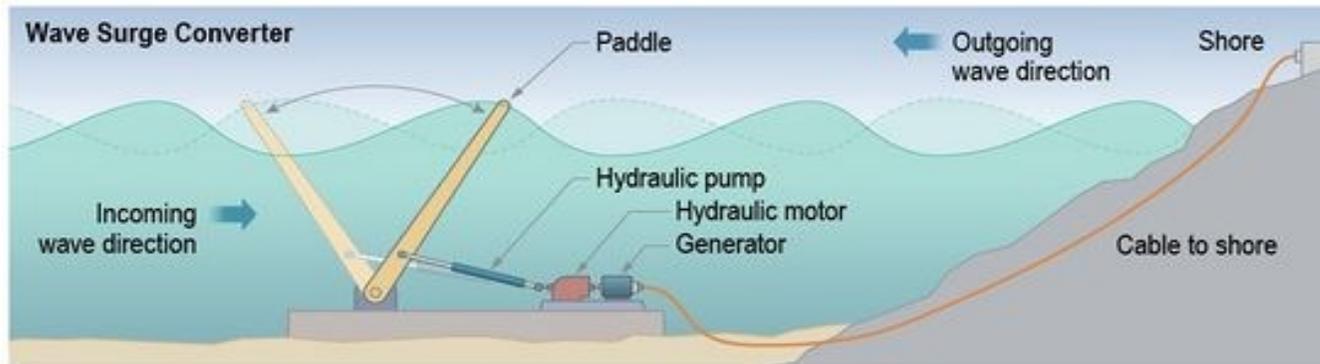
- **Boyas flotadoras.**



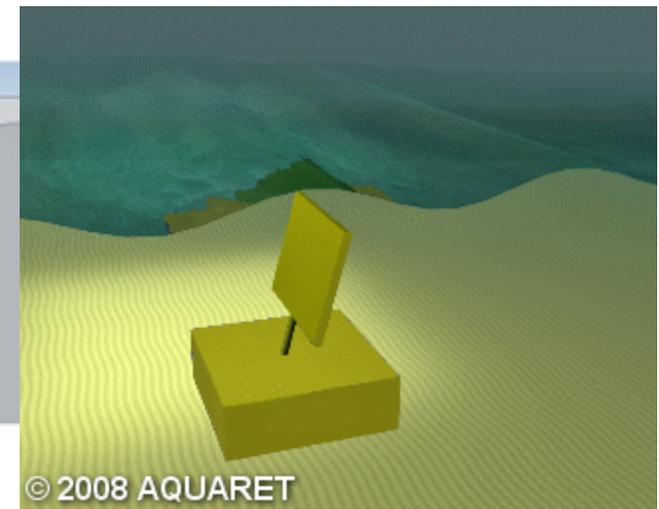
<http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-devices>

[http://www.wattfree.com/wave\\_and\\_water1.htm](http://www.wattfree.com/wave_and_water1.htm)

- El dispositivo **Wave Roller** consiste en una placa, con su parte inferior fija al fondo del océano, que oscila hacia atrás y adelante. El movimiento de las olas mueve la placa y la energía cinética producida se recoge en una bomba de pistón. Esta energía puede ser convertida en electricidad ya sea por un generador unido a la unidad Wave Roller o por un sistema hidráulico cerrado en combinación con un sistema de generador/turbina.

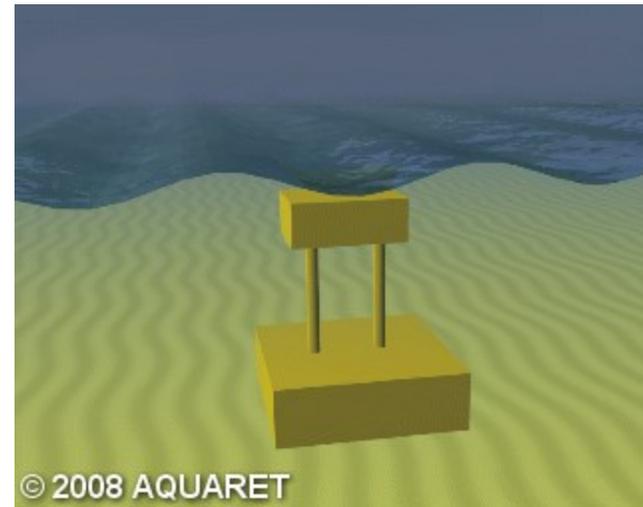


[http://en.openei.org/wiki/Marine\\_and\\_Hydrokinetic\\_Technology\\_Glossary](http://en.openei.org/wiki/Marine_and_Hydrokinetic_Technology_Glossary)



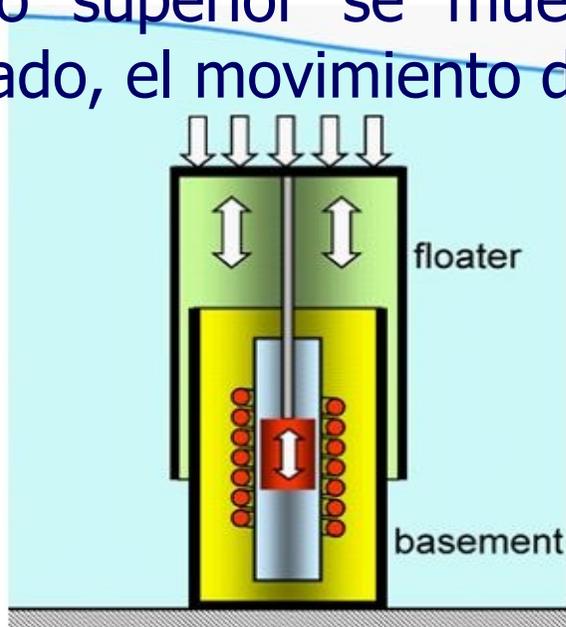
<http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-devices>

- **De traslación lineal.** Estos sistemas están constituidos por dos partes: Una se encuentra fija sobre el fondo marino, y la otra se mueve de manera vertical por la variación de presiones hidrostáticas bajo el agua por las olas.

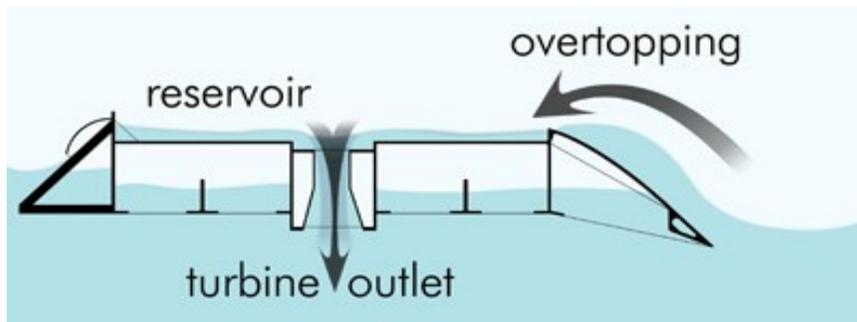


## Archimedes Wave Swing (AWS)

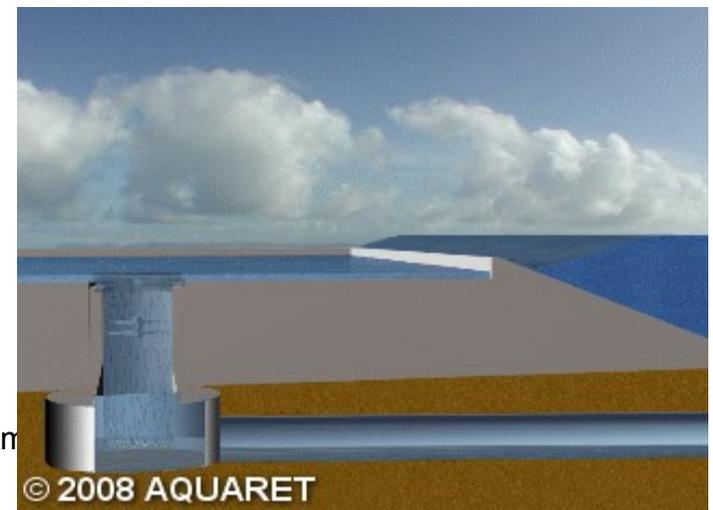
El Archimedes Wave Swing ([www.waveswing.com](http://www.waveswing.com); [www.awsocean.com](http://www.awsocean.com)) es un sistema simple de cámaras de aire conectadas, que utilizan el efecto "flywheel", utilizando el empuje del mar para producir energía eléctrica. El AWS consiste en dos cilindros, el cilindro inferior está fijado al lecho marino, mientras que el cilindro superior se mueve hacia arriba y abajo bajo la influencia de las olas. En forma simultánea magnetos fijados en el cilindro superior se mueven a lo largo de una bobina. Como resultado, el movimiento del flotante genera electricidad.



- **Rebalse.** Consiste en una estructura que utiliza una pared, la cual es sobrepasada por las olas que entran a un depósito de agua. Este acumula energía potencial, descargando el agua a través de turbinas hidráulicas. Uno de los modelos representativos de esta categoría es el "Wave Dragon", que posee un colector de olas y turbinas en el sector central.



<http://science.howstuffworks.com/environmental/earth/oceanography/wave-energy2.htm>



<http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-devices>

- **Atenuador.** Consiste en un dispositivo flotante alineado paralelamente a la dirección de la ola y los movimientos longitudinales pueden ser utilizados para producir energía. Uno de los modelos representativos de esta categoría es el sistema Pelamis.

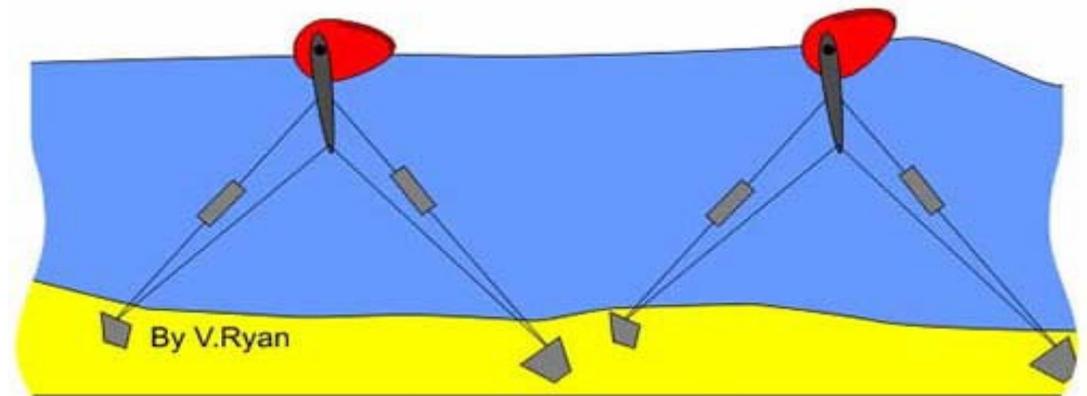


*Sistema Pelamis. Fuente: [www.Pelamiswave.com](http://www.Pelamiswave.com)*



# Salter Duck

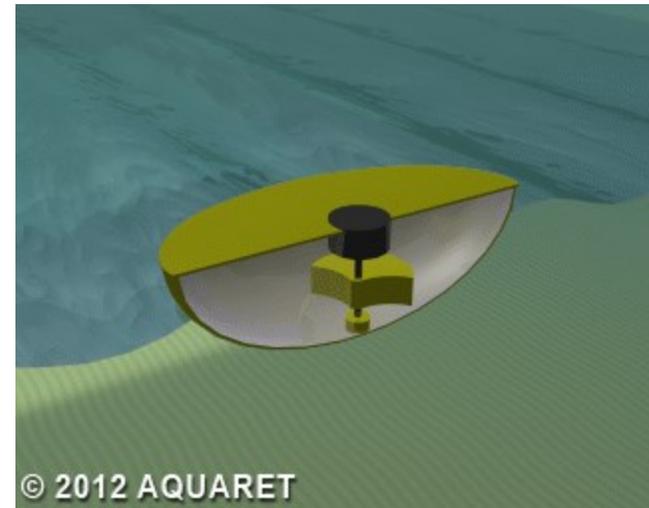
El Salter Duck es otro dispositivo flotante de energía de las olas, como el Pelamis, que genera electricidad a través del movimiento armónico de la parte flotante del dispositivo. En estos sistemas, los dispositivos suben y bajan de acuerdo al movimiento de la ola y la electricidad se genera debido a este movimiento. El Duck (pato) rota con un movimiento de cabeceo a medida que la ola se propaga. Este movimiento bombea fluido hidráulico que activa el motor, que a su vez, activa el generador eléctrico



(<http://www.mech.ed.ac.uk>).

## De masa rotante

Dos formas de rotación se utilizan para captar la energía por el movimiento del dispositivo y agitado vaivén en las olas. Este movimiento impulsa ya sea un peso excéntrico o un giroscopio hace que la precesión. En ambos casos el movimiento está unido a un generador eléctrico en el interior del dispositivo.



<http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-devices>

# Dispositivo undi-motriz.

Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN-Regional Buenos Aires)



<https://youtu.be/oU0WtKCOh4g>



[www.lts.coppe.ufrj.br](http://www.lts.coppe.ufrj.br)

[http://youtu.be/GA\\_UgVm9bvU](http://youtu.be/GA_UgVm9bvU)



Concebido y diseñado en el Laboratorio de Tecnología Submarina Coppe, la planta se encuentra en el puerto de Pecém, a 60 kilómetros de Fortaleza. Usa un sistema de alta presión para girar la turbina y el generador con un flotador conectado al extremo de un brazo mecánico que se pone en movimiento por las olas. Este movimiento ascendente y descendente se activa una bomba que presuriza el agua dulce almacenada en un acumulador conectado a una cámara hiperbárica. El agua a presión en forma de un chorro acciona la turbina, que a su vez hace girar el generador que produce electricidad. La construcción de la planta de onda Pecém fue financiado por la Tractebel Energia SA, a través del Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Agencia Nacional de Energía eléctrica (NAEE), y apoyado por el gobierno de Ceará.

# Ventajas y Desventajas

Los dispositivos emplazados en la costa tienen la ventaja de no necesitar cables eléctricos submarinos ni sistemas de anclaje. Están limitados en relación a los posibles lugares de ubicación ya que estarían sujetos a regímenes de olas menos intensos.

Los dispositivos emplazados entre 10 y 25m de profundidad están por lo general sujetos a un clima de olas con una mayor energía aprovechable. Pero necesitan una determinada calidad de fondo de mar para ser instalados.

Los dispositivos emplazados a más de 50m de profundidad (conocidos como "off-shore") tienen la ventaja de recibir los regímenes de las olas energéticamente más intensos.

Todos están sujetos a la fuerte dinámica del mar.

# Pronósticos y requerimientos previos

Para montar alguno de estos dispositivos, se requiere hacer análisis previos sobre la frecuencia, dirección y altura significativa de olas (campos). Para ello se necesitan mediciones en el lugar y también el uso de modelos numéricos.

También se requieren hacer estudios de impacto ambiental, ya que son energías limpias y renovables pero a su vez de algún modo u otro interfieren con el ecosistema.

# Algunos videos interesantes:

- <http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-devices/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=6K8g4DMFx5c>
- <https://www.youtube.com/watch?v=FZS021oCx1M>
- <https://www.youtube.com/watch?v=hldJi6QS34U>

## **Bibliografía:**

Tesis de maestría de Lic. Ana Julia Lifschitz "Evaluación del potencial energético de las olas en la plataforma continental de Tierra del Fuego, Argentina" septiembre 2010.  
Ocean's Renewable Power and Review of Technologies: Case Study Waves. By Ehsan Enferad and Daryoush Nazarpour DOI: 10.5772/53806

¿Por qué meteorólogos y oceanógrafos  
Intervienen en la producción de energía?

En forma directa

En forma indirecta

Gracias

