

# **CENTRALES ELECTRICAS**

## ***INTRODUCCION A LAS ENERGIAS RENOVABLES***

*Jorge A. González*

*Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología*

*Universidad Nacional de Tucumán*



## **UN LARGO SUEÑO** (Gerald Foley)

"Algún día el ser humano despertará de una larga pesadilla y recordará su propio pasado energético... rodeado de diferentes medios para captar la energía solar. No comprenderá la locura de los que se embarcan en la aventura de agotar en menos de 250 años unos recursos fósiles que habían tardado 600 millones de años en formarse. Pero todavía no nos hemos despertado, todavía continuamos en el sueño".

# INTRODUCCION

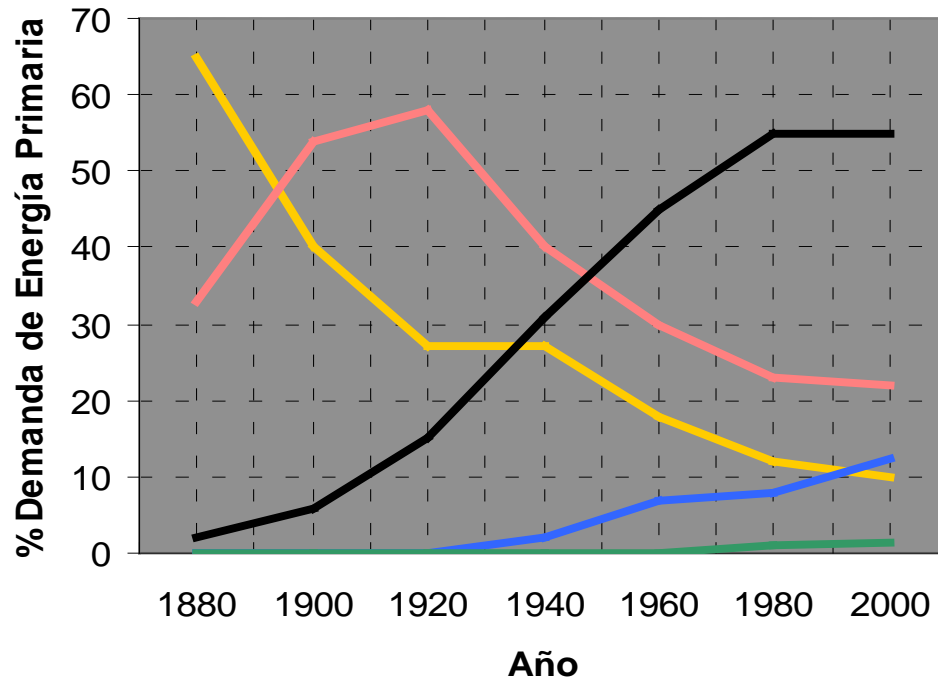
La evolución y progreso del hombre está ligado al **uso de energía**. La **demanda de energía** aumenta continuamente (en el 2030 un 40% más que el consumo actual, AIE) .

Para cubrir una demanda energética, se necesita por un lado, de la existencia de un recurso primario o fuente, y por el otro, de un sistema que transforme y adecue ese recurso a la demanda.



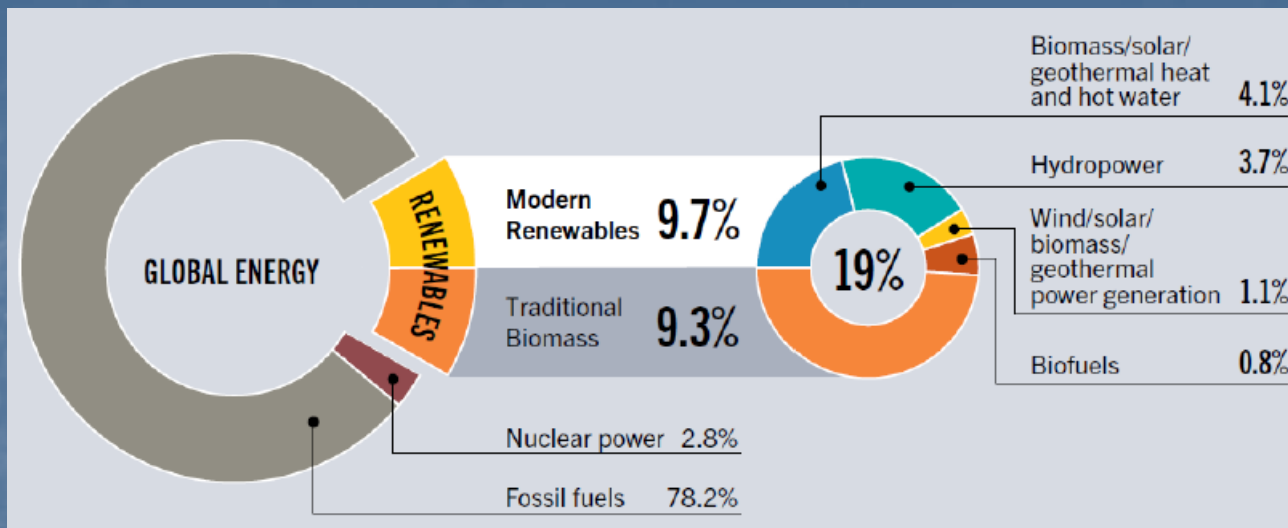
# Evolución histórica aproximada del Uso de los Recursos Energéticos

## Evolución de los Tipos de Energía- Período 1880-2000

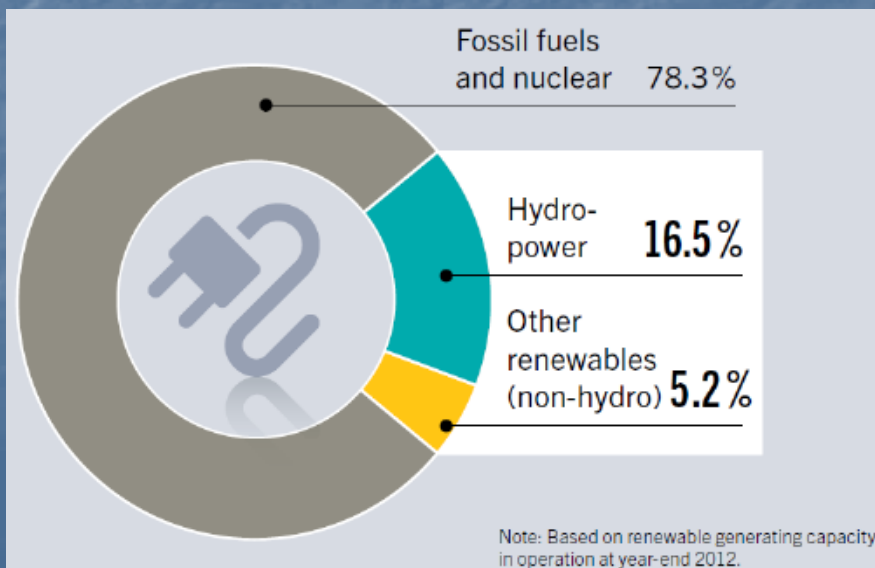


— Biomasa Trad.      — Carbón      — Petrol&Gas  
— Nucl&Hidro      — Renovables

# Distribución % de Energía en el Consumo Final Global, 2011



**Sistemas Energéticos Actuales:** El 78% de la energía consumida final proviene de recursos fósiles (carbón, petróleo y gas), 2,8 % de energía nuclear,  $\approx 10$  % biomasa tradicional,  $\approx 9$  % energía eólica, geotérmica, solar, biomasa, etc.



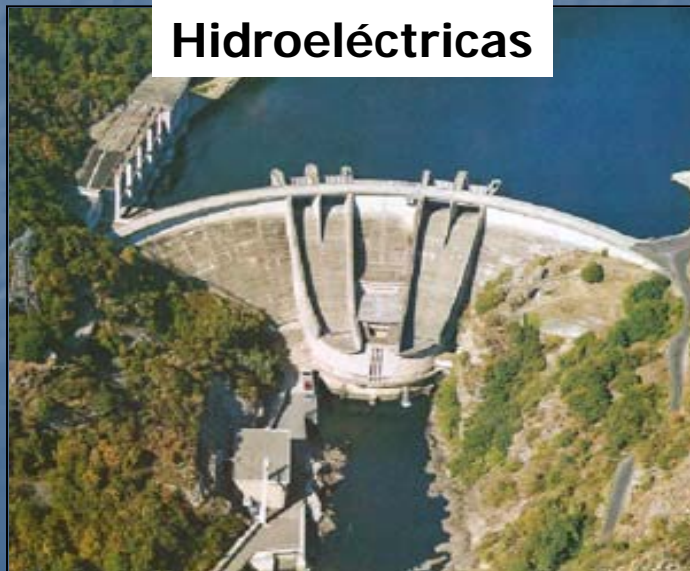
## Distribución % de Energía en la Generación Eléctrica, 2011

# CENTRALES CONVENCIONALES DE PRODUCCION DE ELECTRICIDAD

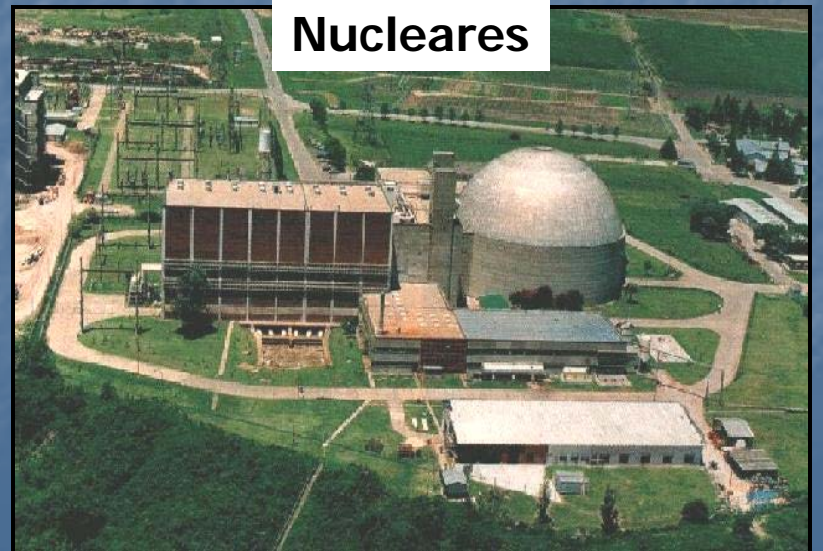
Gran Tamaño,  
Concentrada



Térmicas  
(40% carbón)



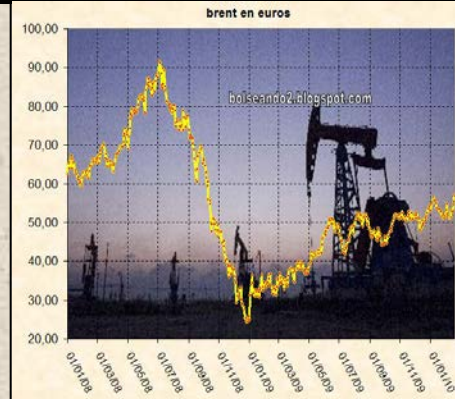
Hidroeléctricas



Nucleares

# Contexto Global

- Costo y “Finitud” del Recurso Petróleo
- Independencia del Recurso Fósil
- Cambio Climático asociado a la producción de CO2 por la combustión de recursos fósiles (producción de energía eléctrica responsable por el 25% de emisiones de CO2, > contribución del hombre).
- Vigencia del Protocolo de Kyoto (Establece el primer compromiso formal de las economías industrializadas, de reducir sus emisiones antropogénicas de GEI, en un promedio del 5,2% respecto del nivel de 1990, durante el primer período de compromiso 2008-2012).



Motoriza la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) de:  
**NUEVOS SISTEMAS ENERGETICOS basados en RECURSOS RENOVABLES**

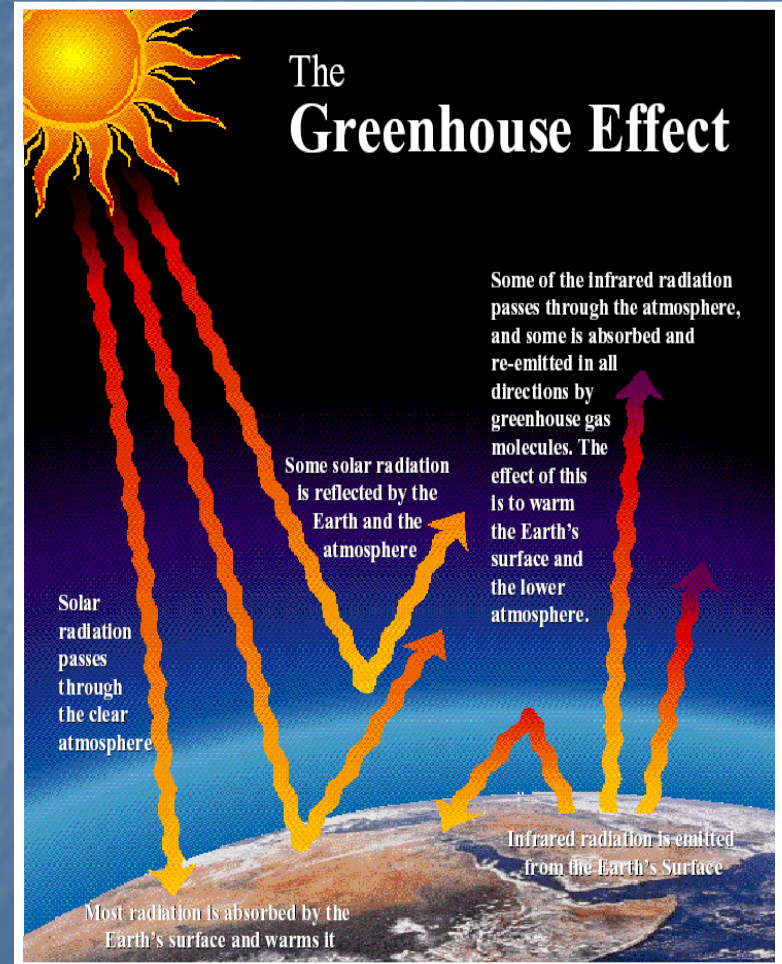
# Cambio Climático

Las actividades humanas producen emisiones que elevan el % de GEI en la atmósfera (CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, gases industriales fluorados, etc.), que atrapan y re-emiten el calor que proviene de la superficie terrestre, provocando:

**Efecto Invernadero →**

**Calentamiento Global →**

**Cambio Climático**





Energías No Renovables: Energías provenientes de *recursos almacenados* en la corteza terrestre, que presentan riesgo cierto de agotarse en un tiempo más o menos finito.



© HERNANDEZ CABALLERO, S. Edit., 1998

Energías Renovables: *Flujos de energía* que se están recargando continuamente mediante ciclos naturales. Son recursos que no presentan riesgo cierto de agotarse en un tiempo finito.



# Algunas características de los Recursos Renovables

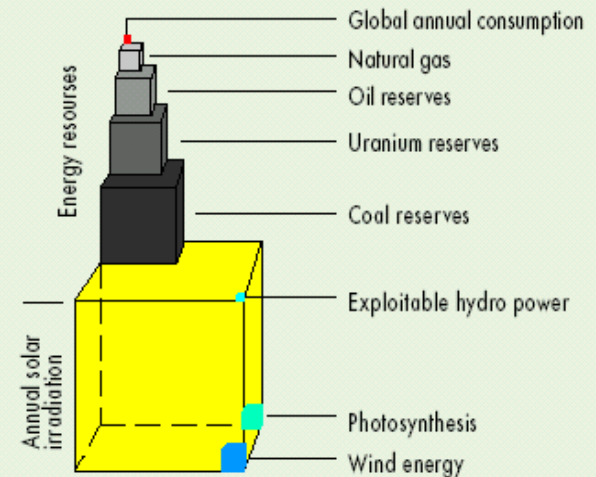
- Recursos Renovables → **"Recursos Infinitos"**.
- Presentan una **naturaleza distribuida** → se pueden aprovechar en distintos puntos del planeta.
- Presentan una **naturaleza difusa** → bajo contenido energético → **grandes áreas de captación**.
- La radiación solar y el viento son **variables con el tiempo (intermitencia)** → **almacenamiento e hibridización**.

Las NTER que producen energía eléctrica y/o calórica, aprovechan el siguiente recurso renovable:

**SOL** → **solar, eólica, biomasa, hidráulica, undimotriz**

**GRAVEDAD** → **mareomotriz, corriente oceánica**

**CALOR INTERNO de la TIERRA** → **geotér.**

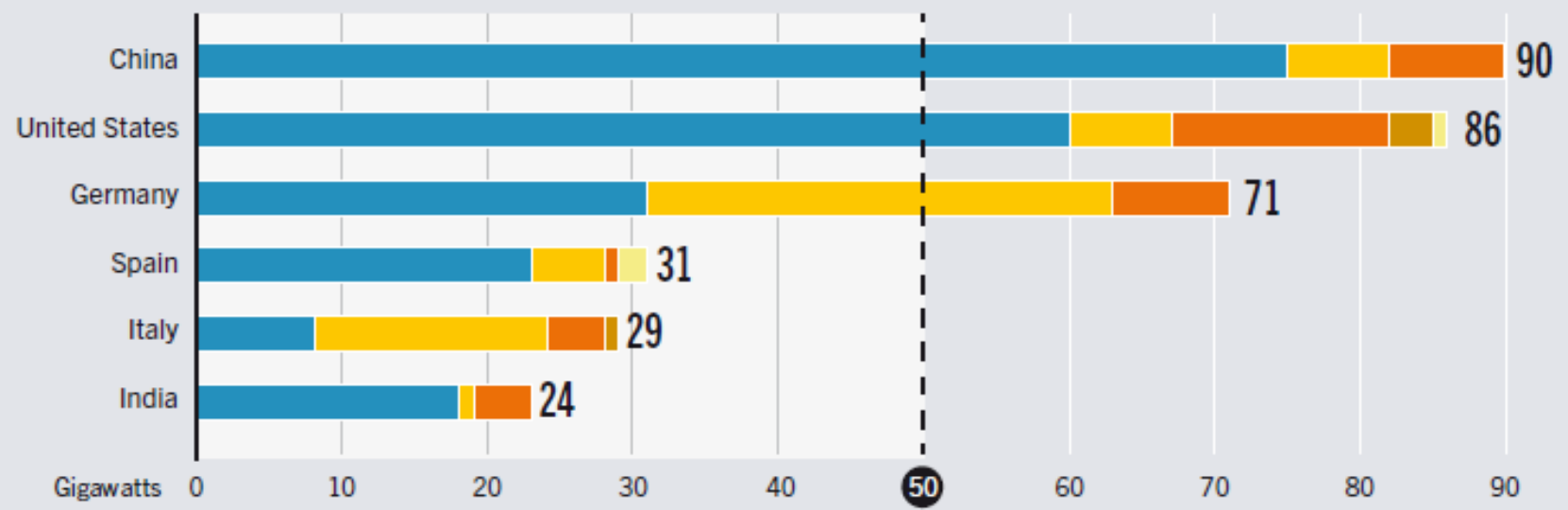
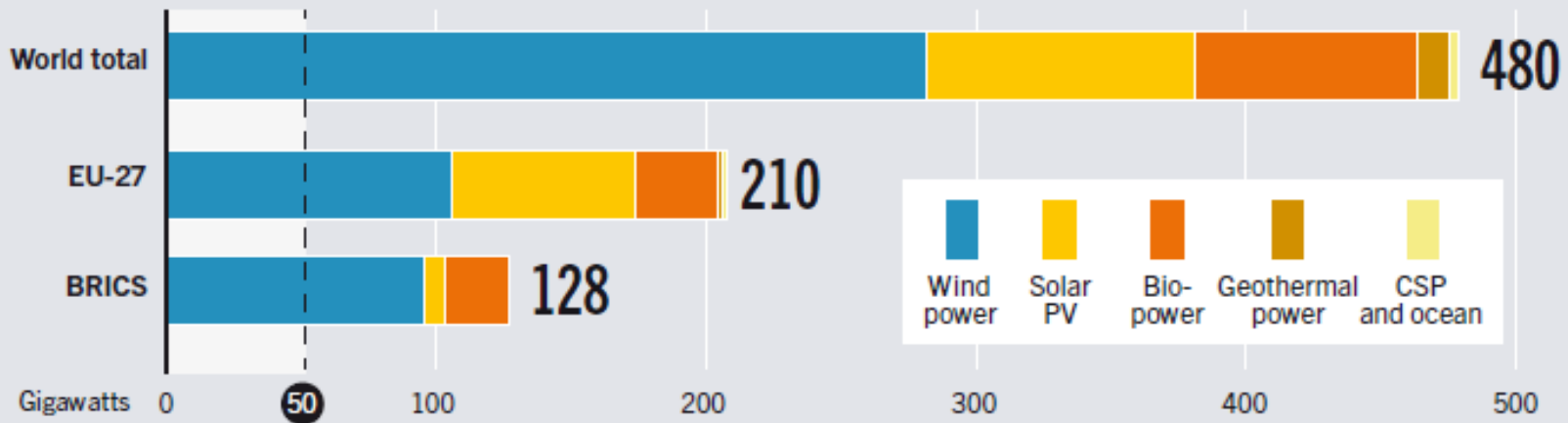




➤ El costo económico de las NTER es en general superior a las convencionales → sigue siendo un freno para su mayor desarrollo → necesidad de un subsidio inicial.

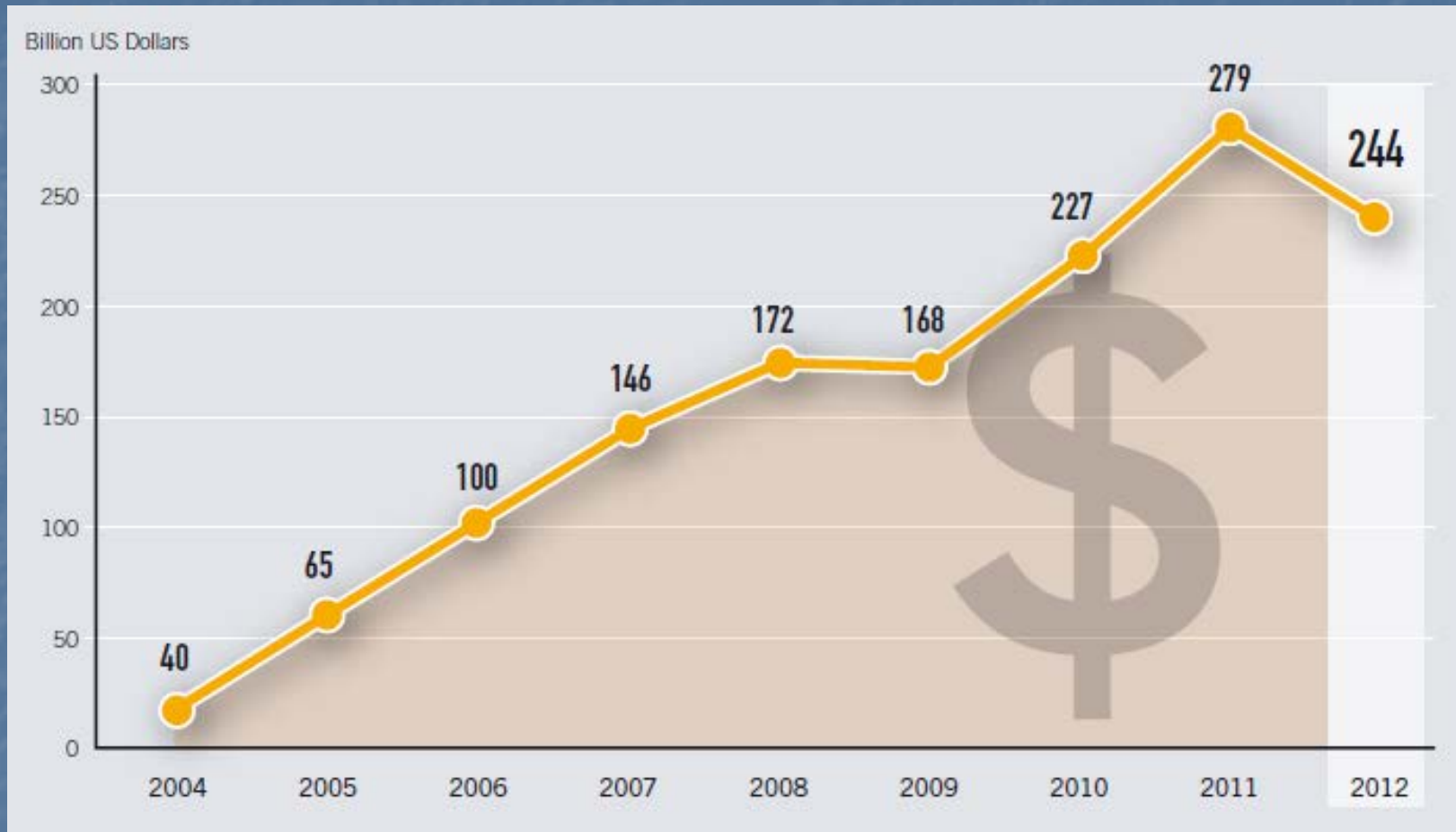
➤ Las NTER no emiten Gases de Efecto Invernadero (GEI) durante su operación. El IA total varía según el tipo de NTER, pero en general es más bajo que el originado por los combustibles fósiles.

# Potencia Instalada de NTER hasta el año 2012 y países que más NTER poseen

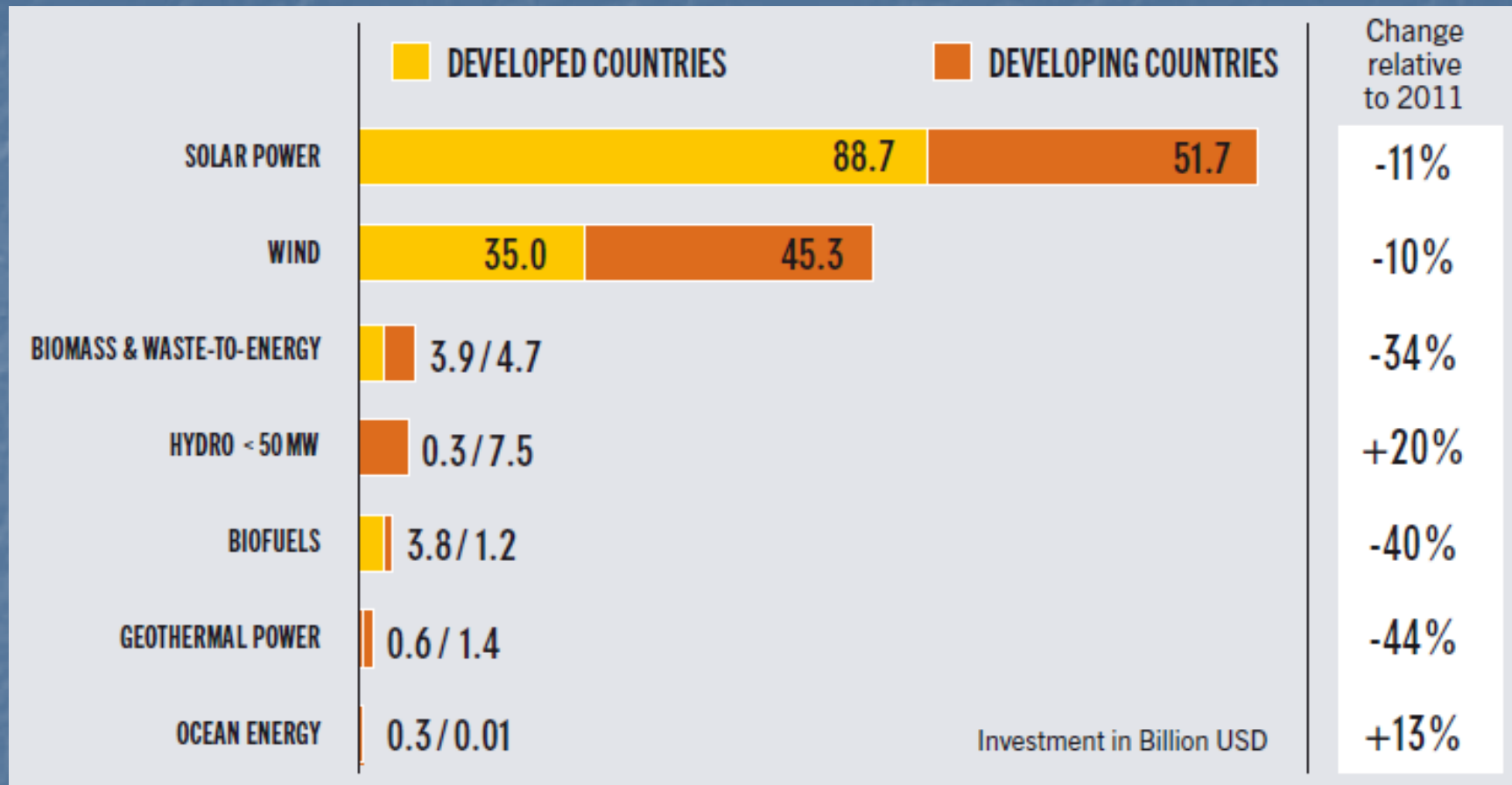


\*not including hydropower

## Evolución de la Inversión en NTER



## % Inversión en las diversas NTER



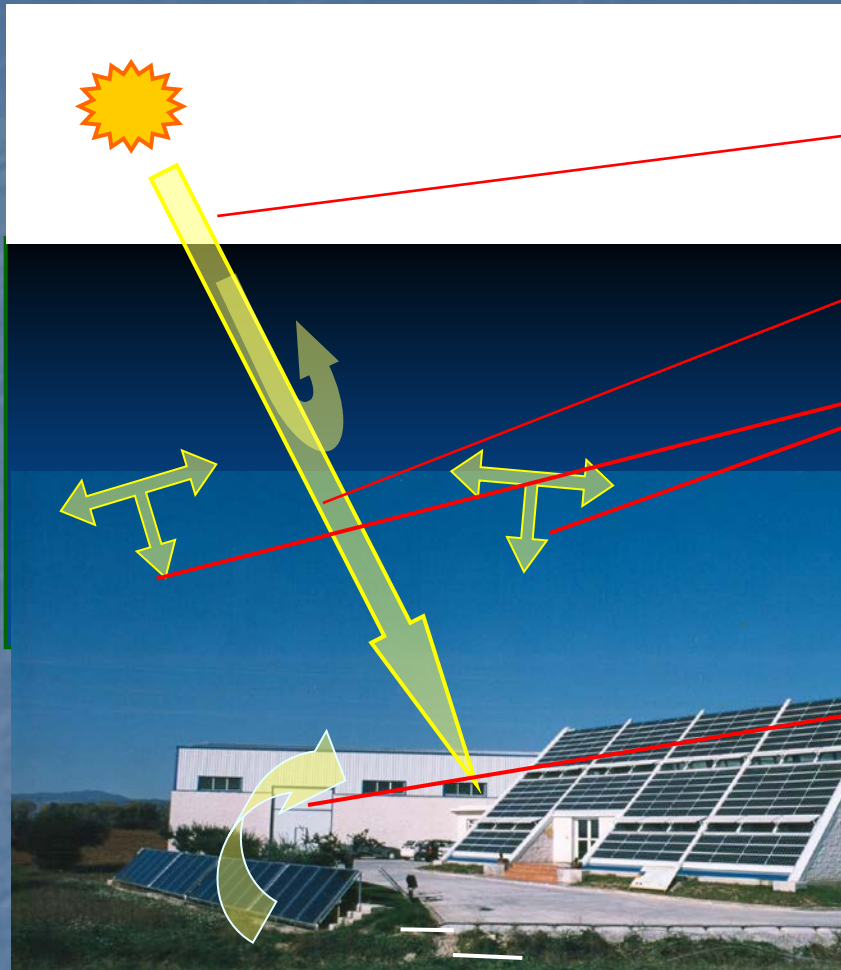
## Qué se está haciendo a nivel Mundial respecto de los sistemas energéticos en general ??

- I+D+i de NTER, tanto para la generación eléctrica, térmica y mecánica.
- Nuevos sistemas de motorización para el transporte (celdas de combustible, pilas ion-litio, supercondensadores), producción de combustibles de origen renovable (BE y BD) e H<sub>2</sub>.
- Sistemas que permiten el secuestro y almacenamiento del CO<sub>2</sub> producido por la quema de recursos fósiles (carbón) en Centrales Eléctricas.
- Nueva Generación de Centrales Nucleares y estudios de Seguridad de los Residuos.
- Mejora de la eficiencia de la conversión, distribución y uso de la energía.
- Formulación de políticas que promuevan el ahorro energético (cambio de hábitos, no tecnológico).

**“NUEVAS” TECNOLOGIAS que usan  
ENERGIAS RENOVABLES (NTER)**



# Irradiancia Global que llega a la superficie terrestre $I$



## RADIACIÓN

**Extraatmosférica:** Fuera de la atmósfera

**Directa:** Procede del disco solar y depende de su posición

**Difusa:** Procede de la atmósfera y es la consecuencia de los procesos de reflexión, dispersión y absorción

**Reflejada:** Procede de la reflexión de la radiación incidente sobre el entorno

**Radiación Global = Directa + Difusa + Reflejada**

$$I = I_B + I_D + I_R$$

## Irradiancia Global que incide sobre una superficie cualquiera

$$I = I_B + I_D + I_R$$

$I$  = Irradiancia solar Global = Potencia total incidente en una unidad de área plana en la sup. terrestre [W/m<sup>2</sup>].

$I_B$  = Irradiancia solar Directa (beam) = Potencia directa que incide en una unidad de área plana, normal a la radiación, procedente directamente del disco solar (no sufre cambio de dirección a su paso por la atm) [W/m<sup>2</sup>].

$I_D$  = Irradiancia solar Difusa = Potencia difusa que incide en una unidad de área, procedente de la difusión (dispersión) de la radiación solar a su paso por la atm y reflexión en nubes [W/m<sup>2</sup>].

$I_R$  = Irradiancia solar Reflejada = Potencia reflejada que incide en una unidad de área, procedente de la reflexión de la radiación en el entorno [W/m<sup>2</sup>].

## Datos de valores globales sobre superficie horizontal



Piranómetro

### Medidas directas

Basados en sensores que transforman energía radiante incidente en señal eléctrica. Lo que más se mide es la irradiancia global horizontal, algo menos la difusa y muy poco la directa.



Piranómetro con anillo

**Radiación Directa** = Radiación Global (piran.) –  
-Radiación Difusa (piran. con anillo de sombra)



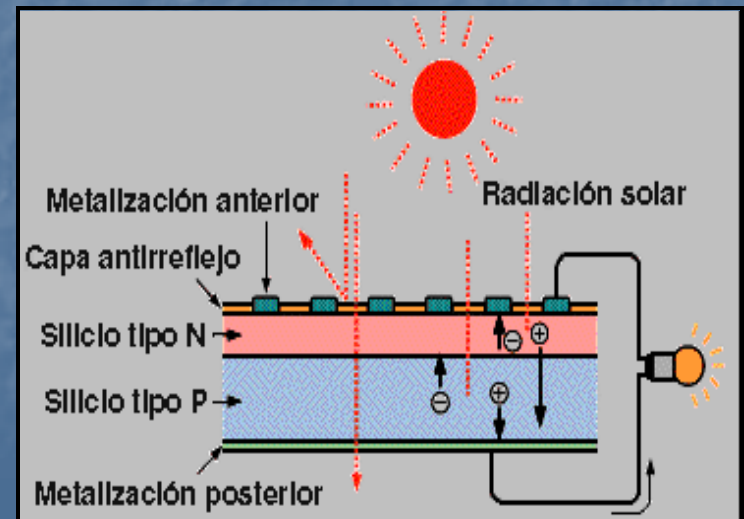
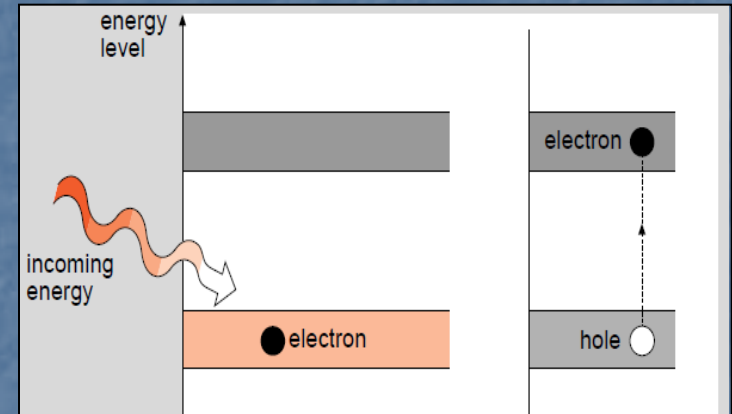
Pirheliómetro

# Sistema Fotovoltaico

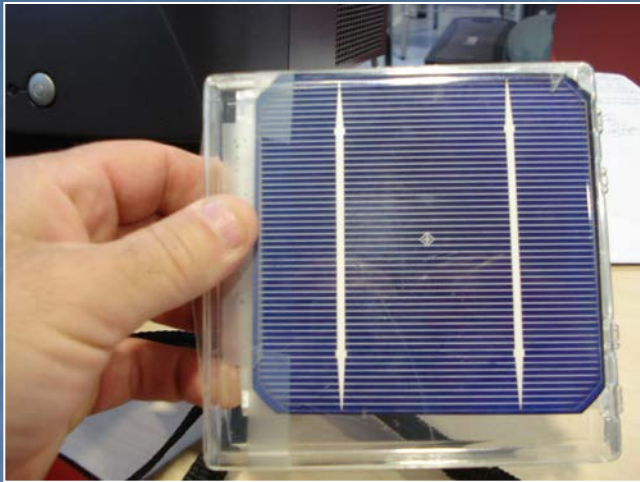
Se produce electricidad en forma directa por medio del **efecto FV** → saltos de electrones en materiales semiconductores cuando se excitan por la radiación solar (**fotones** o cuantos de luz).

La unidad básica donde se produce este fenómeno se llama **célula FV** (p.e. dos delgadas láminas de silicio P-Boro y N-Fósf, 30 mA/cm<sup>2</sup> - 0,5 V)

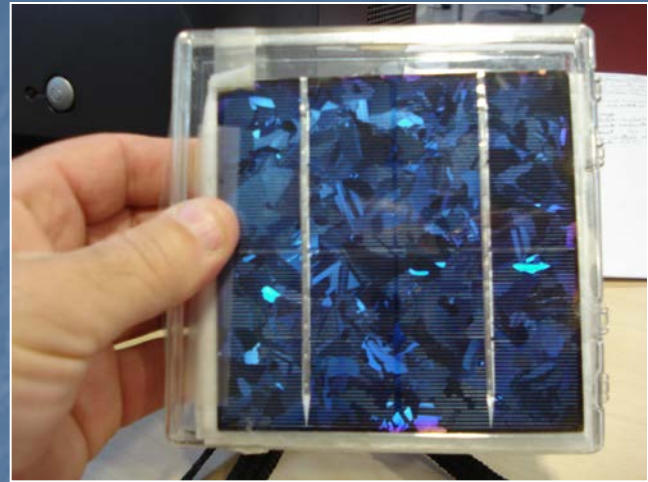
Acopladas en determinadas configur. (serie, paralelo) forman un **módulo** donde se obtienen > U, I, P.



# El Silicio como Material Semiconductor



Si Monocristalino



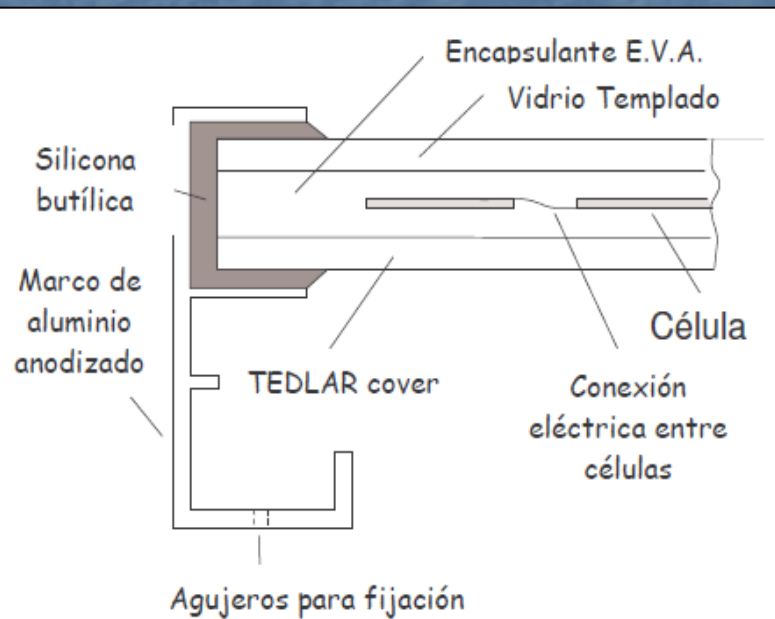
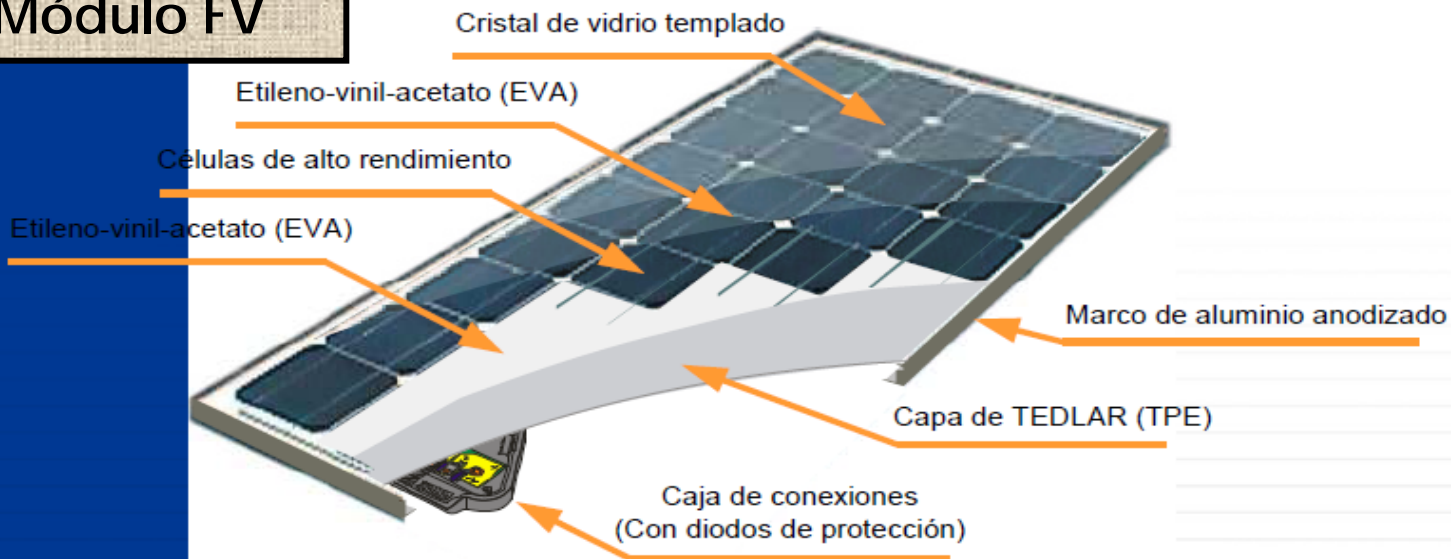
Si Multicristalino



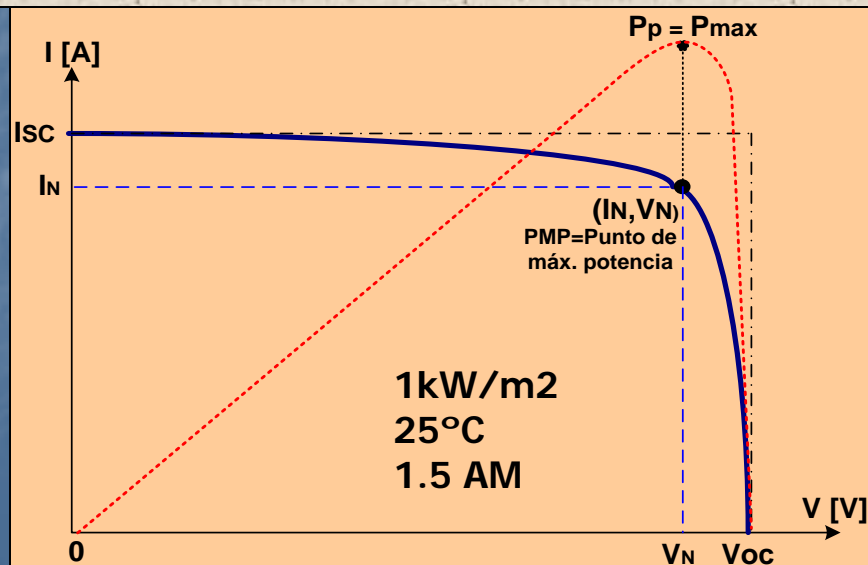
Si Amorfo

Hay diferentes materiales para Construir la Célula: Si (el más importante), CdTe (Teluro de Cadmio), CuInSe<sub>2</sub> (CIS), Arseniuro de Galio (multicapa)

# Elementos del Módulo FV



## Curva y puntos característicos (STC)



## Algunas Aplicaciones

Una forma de dividir a los SFV: (a) Con conexión a red (en general no tienen acumuladores) y (b) aisladas (tienen acumuladores).



El costo por Wpico instalado (depende del sitio), es de unos 7-8 U\$\$/Wp. Es una tecnología aún cara, pero competitiva en ciertos nichos.

El tiempo de retorno de energía es de unos 3-5 años, considerando una vida útil de  $\approx$  25-30 años.

## Aplicado a un Sistema de Alumbrado



Monte Pego, Alicante. Sistema de farola con FV. Panel de Si Mc, 120 Wp, 7 A, Acumulador de 295 Ah, 5 días de autonomía, Regulador, interruptor crepuscular, Lámpara de bajo consumo de 36 W.

Las luminarias pueden ser compactas de bajo consumo, sodio de baja presión, led.

El sistema FV puede estar centralizado o distribuido en cada una de las luminarias.





**Módulos Superpuestos**



**Elemento de revestimiento,  
tejas fotovoltaicas.**

**Integración  
Arquitectónica  
de Sistemas FV**



**Elemento de cerramiento  
(Ministerio de Econo., Alemania)**



**Elemento de sombreado (Parque  
de las Ciencias, Granada)**

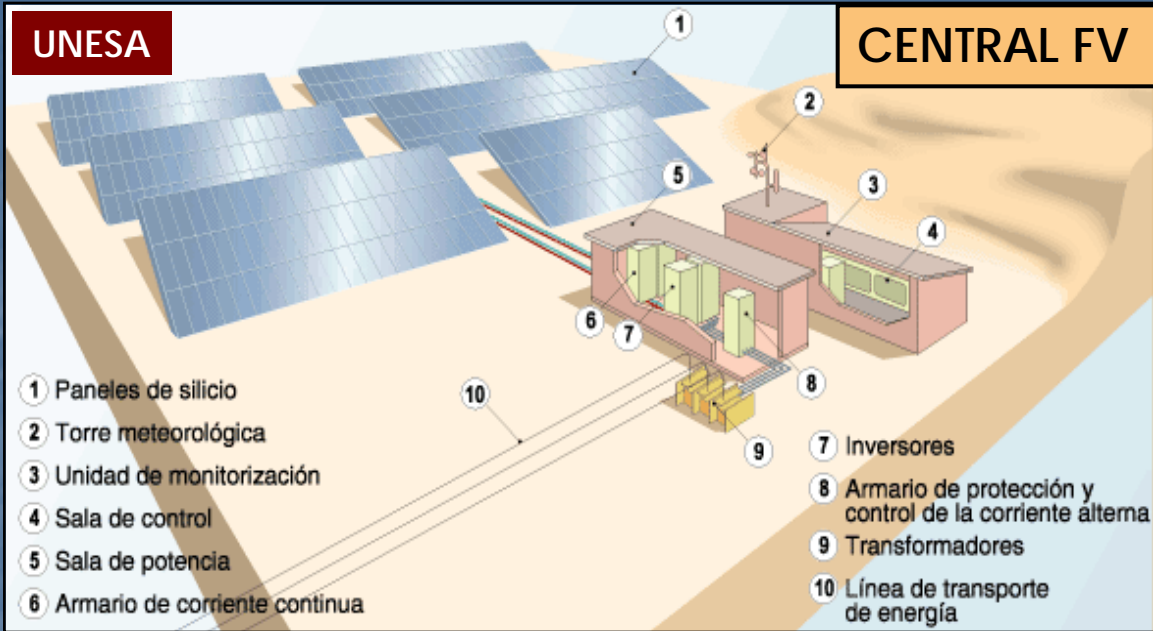
## Precios medios de instalaciones conectadas a la red en España, año 2005.

EN EUROS	5 kW	100 kW	2 MW
Paneles	3,50	3,40	3,23
Estructura soporte y elementos mecánicos	0,36	0,31	0,30
Inversor + protecciones + contador, monit.	0,85	0,74	0,70
Cableado y varios	0,19	0,15	0,14
Montaje y p.e.m.	0,42	0,26	0,24
Ingeniería, gastos generales, administración etc. y B° industrial	1,38	1,14	1,08
<b>Total (EUR/Wp)</b>	<b>6,7</b>	<b>6,0</b>	<b>5,7</b>



Para fines de 2010:  
Costo del SFV  $\approx$  4 Euros/Wp





Central muy costosa →  
 4000-6000 [U\$/kW  
 instalado], 16-25  
 [cU\$/kWh]. La E produc  
 es unas 4-5 veces más  
 cara que en un sistema  
 convencional.



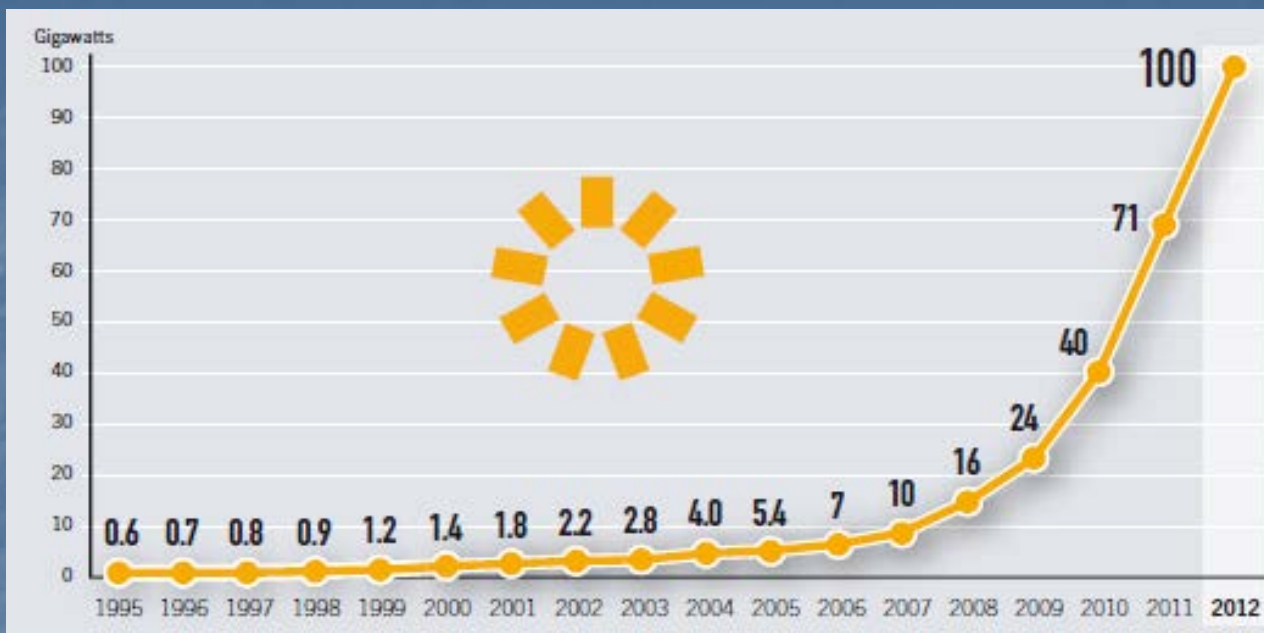
## Central FV de Puebla de Montalbán de 1 MWp, Toledo, España

Campo solar de tres subcampos, dos de ellos fijos (900 kW, inclinación  $30^\circ$  sur) y el tercero con seguimiento en un eje NS (100 kW) que consume 700 Wh/día.  
Area ocupada = 20000 m<sup>2</sup>  
Area módulos = 8000 m<sup>2</sup>  
Nº total de módulos de Si mc = 8000  
**E producida  $\approx$  1200 MWh/año**

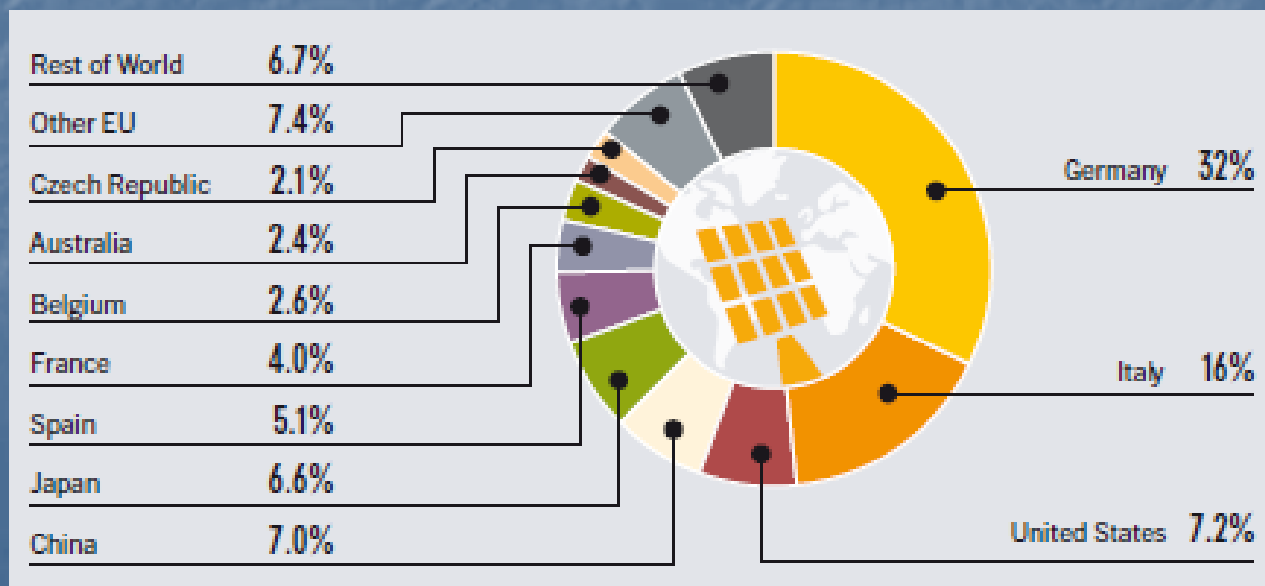
<http://www.toledopv.com>



## Evolución de la Capacidad Solar FV mundial



## Distribución de la capacidad FV por países. 2012



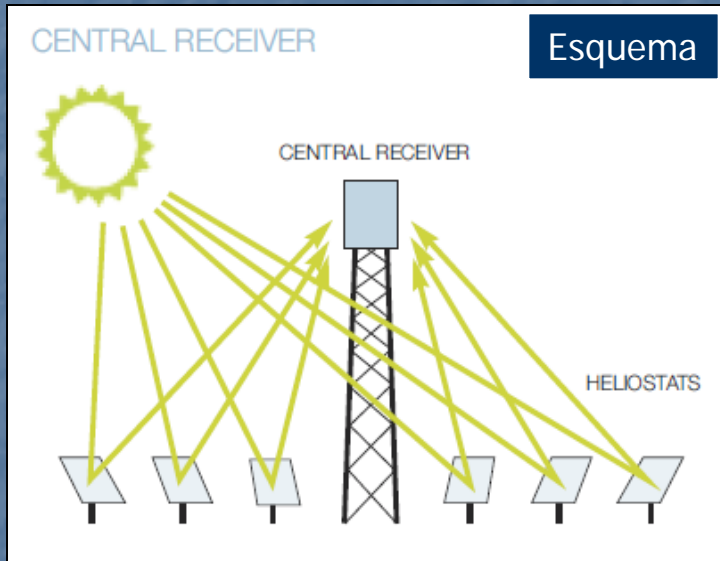
# Sistema Solar Térmico de Alta Temperatura

## *Sistemas de Concentración Solar*

*Basados en espejos móviles con geometría para reflejar y concentrar radiación solar sobre un sistema receptor, para aumentar la temp. de un fluido de trabajo que circula.*

- Sistema Concentrador Puntual en Torre
- Sistema Concentrador Lineal Cilindro-Parabólico
- Sistema Concentrador Puntual Disco Parabólico
- Sistema Concentrador Lineal Fresnel

## Sistema Concentrador en Torre – Receptor Central



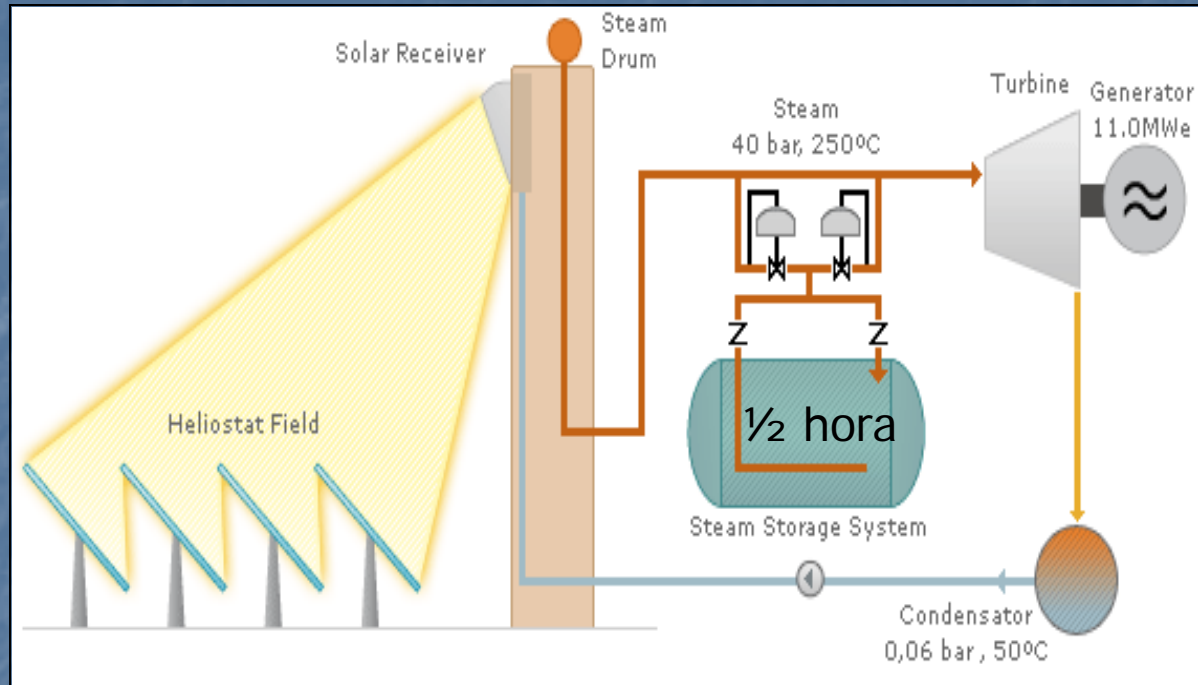
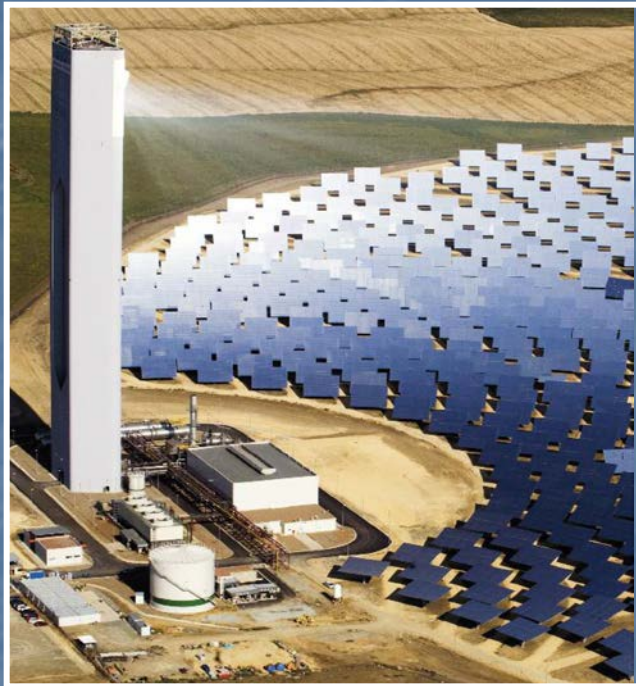
Consiste de una torre (70-150 m) y un campo de heliostatos (cientos de espejos móviles de unos 10x10 m cada uno) controlados automáticamente, para concentrar la radiación solar (200-1000 veces) en un receptor que se encuentra en la parte alta de la misma (500-900 °C). Las potencias unitarias son de 10-200 MWe.

Por el receptor circula un fluido (aire, sales fundidas) que es calentado para producir en un intercambiador de calor vapor de agua, y así hacer funcionar una turbina acoplada a un G eléctrico. El fluido puede ser directamente agua (PS10).

Para asegurar potencia firme, el sistema puede contar con tanques de almacenamiento del fluido y/o hibridización con gas o biomasa.

Costo estimado 3000-3500 [U\$/kW instalado], 20-25[cU\$/kWh]

## Planta PS10 de Abengoa, Sanlúcar la Mayor (Sevilla)



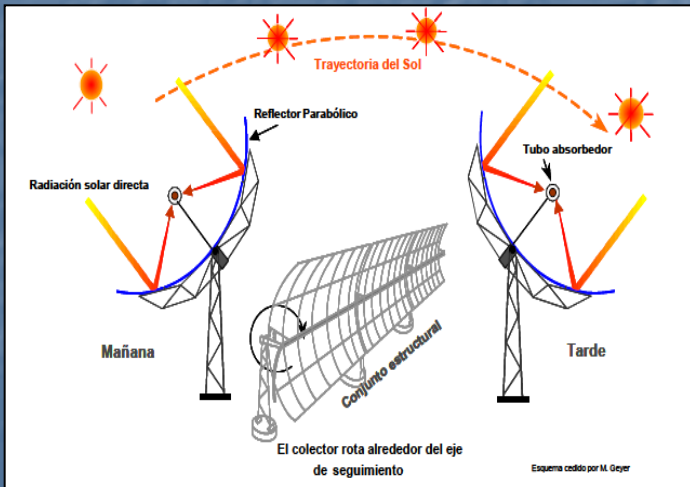
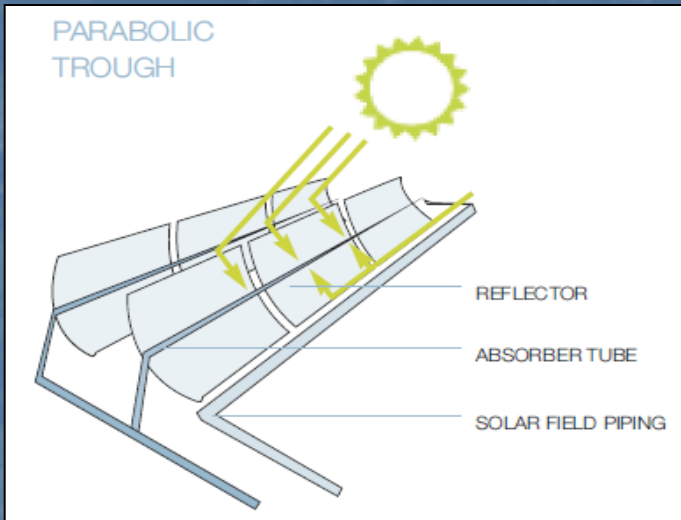
La potencia eléctrica es de 11 MWe. Posee 624 helióstatos de 120 m<sup>2</sup> c/u. Cada uno es independiente y sigue al sol sobre dos ejes, concentrando luz en el receptor que está arriba de la torre a 115 m de altura

[www.abengoa.com](http://www.abengoa.com)



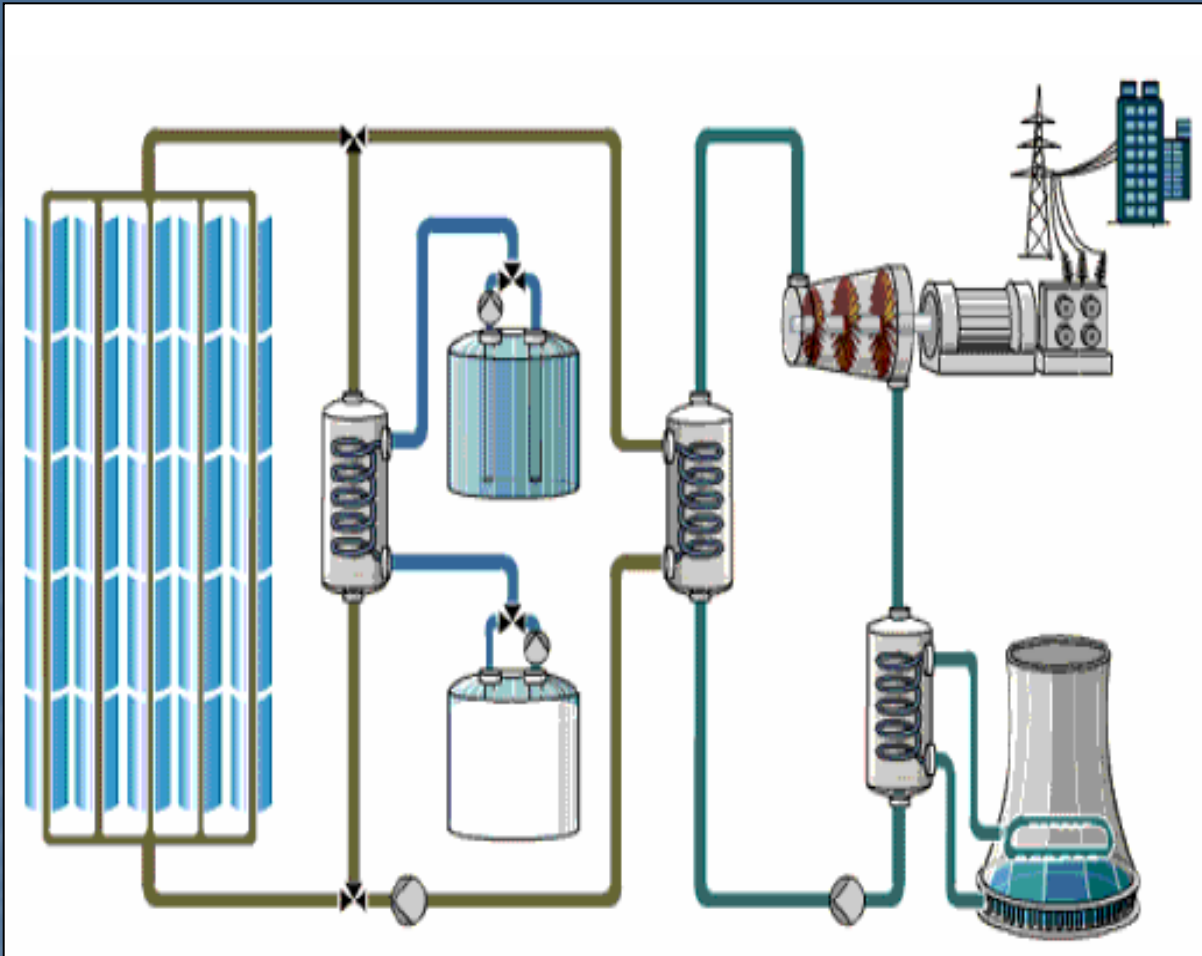


# Sistema Concentrador Cilindro-Parabólico



Radiación solar concentrada 40-80 veces sobre tubos lineales situados en el foco de una parábola, por donde circula un fluido (aceite) que se calienta  $\approx$  a 400 °C. Se transfiere este calor al agua para producir vapor y/o a tanques de almacenamiento que contienen sales fundidas. La potencia obtenida puede estar entre 30 y 80 MW.0

## Central ANDASOL de 50 MW - Guadix –España



$P = 50 \text{ MWe}$

$E = 172 \text{ GWh/año}$

$E \text{ solar} = 2100 \text{ kWh/m}^2\text{-a}$

$A \text{ campo} = 1500 \times 1300 \text{ mt}$

$A \text{ espejos} = 510000 \text{ m}^2$

Fluido de Transferencia :  
Aceite Sintético

Almacenaje :  
Sales Fundidas (7,5 h)

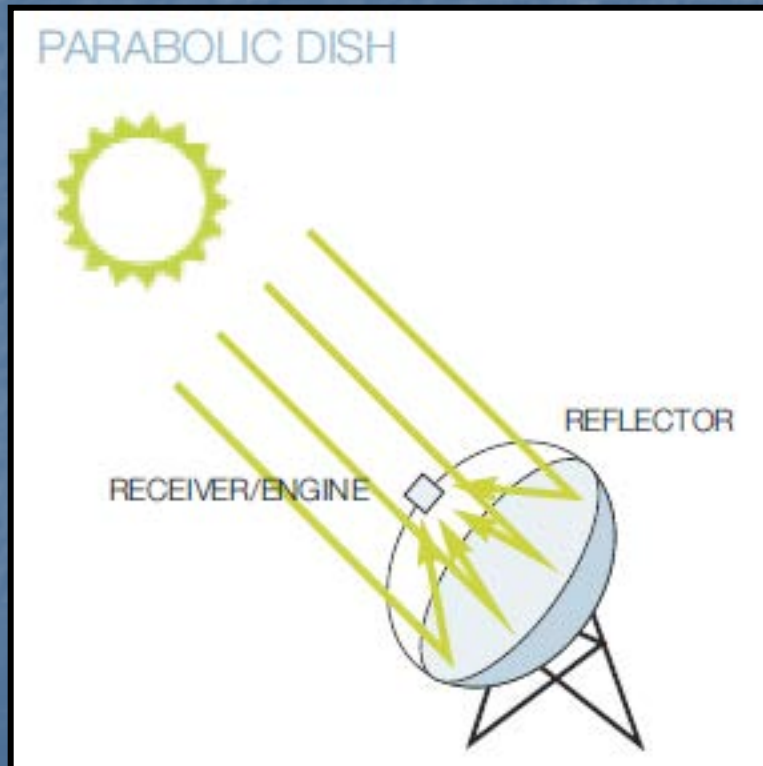
Costo = 300 10 E6 euros

<http://www.power-technology.com/projects/andasolsolarpower/>



# Sistema Concentrador por Discos Parabólicos

Estos sistemas modulares, concentran la energía solar (1000-4000 veces) en su punto focal alcanzando temperaturas del orden de 700-1000°C, generando vapor para una TV convencional o un motor Stirling. Las Potencias de operación son de 5-25 kW (discos de 10 m de diámetro).



## Granja Solar con Disco Stirling, de 1.6 MW, Peoria, Arizona, USA



60 colectores solares de 25 kW c/u

[http://www.stirlingenergy.com/pdf/2009\\_8\\_19.pdf](http://www.stirlingenergy.com/pdf/2009_8_19.pdf)

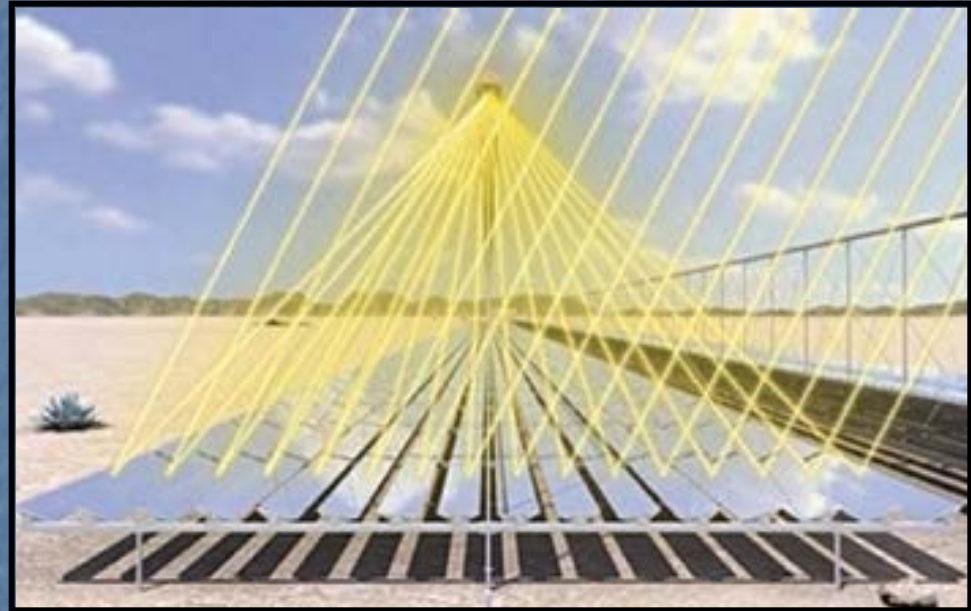
Jorge González-FACET-UNT

## Sistema Concentrador Fresnel

Estos sistemas reflejan la radiación solar en espejos planos o levemente curvados y la concentran en un receptor lineal situado a una altura del orden de los metros. Por allí circula agua que es calentada y evaporada. Presenta bajos costos y generan en el orden de los MW.



Vista de los espejos  
y Tubo absorbedor



Reflexión de rayos  
en los espejos

## Central Solar Fresnel Nova-1 de 1,4 MW, España



Energía producida = 2 GWh

16 filas paralelas de espejos y receptor lineal a una altura de 7,40 metros.

Fluido = agua, vapor a temperatura de 270 °C y presión de 55 bar

[http://www.novatec-biosol.com/index.php?article\\_id=14&clang=1](http://www.novatec-biosol.com/index.php?article_id=14&clang=1)



## Comparación entre Sistemas de Concentración Solar

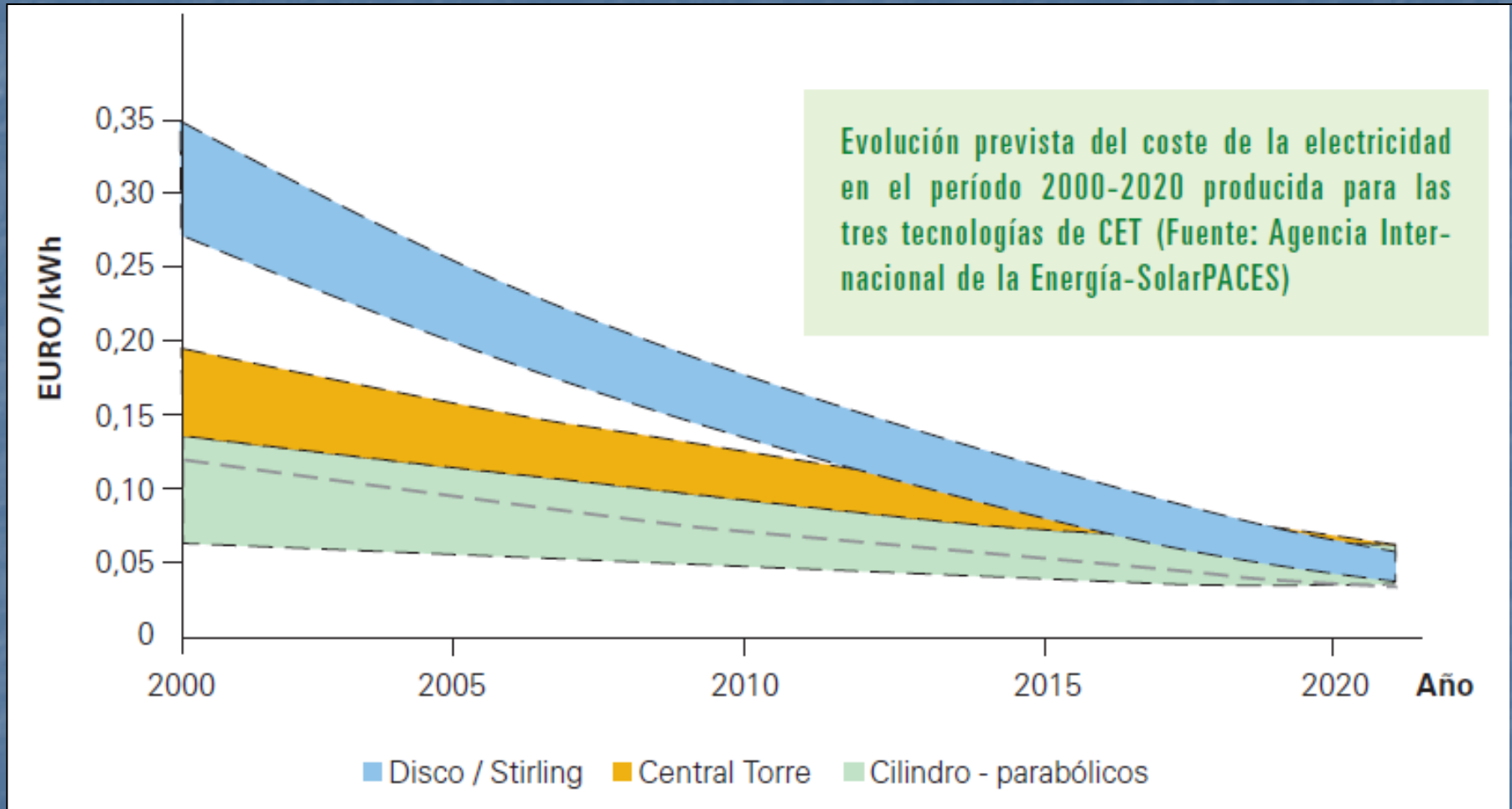
### Características más reseñables de las Centrales Eléctricas Termosolares (CET)

	Cilindro-parabólicos	Receptor Central	Discos Parabólicos
Potencia Eléctrica	30-80 MW*	10-200 MW*	5-25 kW
Temperatura operación	390 °C	565 °C	750 °C
Factor de capacidad anual	23-50 %*	20-77 %*	25 %
Eficiencia pico	20 %	23 %	29,4 %
Eficiencia Neta Anual	11-16 %*	7-20 %*	12-25 %
Estado comercial	Disponible comercialmente	Demostración	Prototipos-demostración
Riesgo Tecnológico	Bajo	Medio	Alto
Almacenamiento disponible	Limitado	Sí	Baterías
Diseños híbridos	Sí	Sí	Sí
Coste W instalado			
Euro/W	3,49-2,34*	3,83-2,16*	11,00-1,14*
Euro/Wp**	3,49-1,13*	2,09-0,78*	11,00-0,96*

\* El rango indicado se refiere al periodo de 1997 al año 2030.

\*\* Euro/Wp se refiere al coste por W instalado eliminando el efecto de almacenamiento de energía, tal y como se hace en la energía solar fotovoltaica.

## Evolución prevista del coste de la electricidad en el período 2000-2020



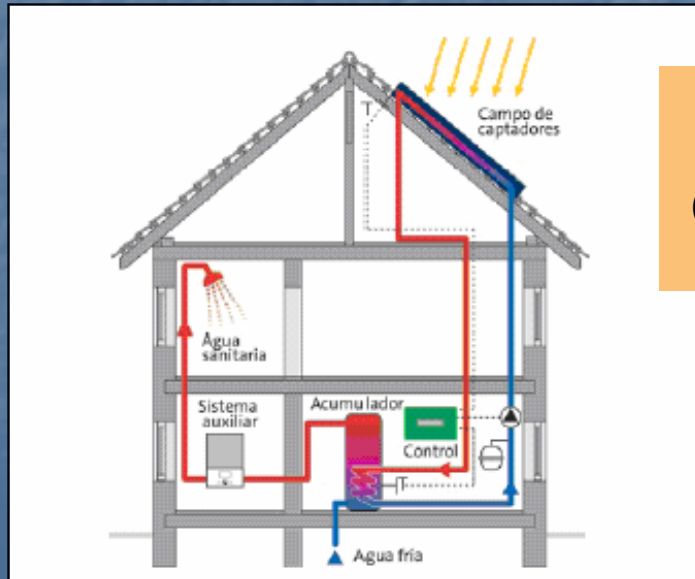
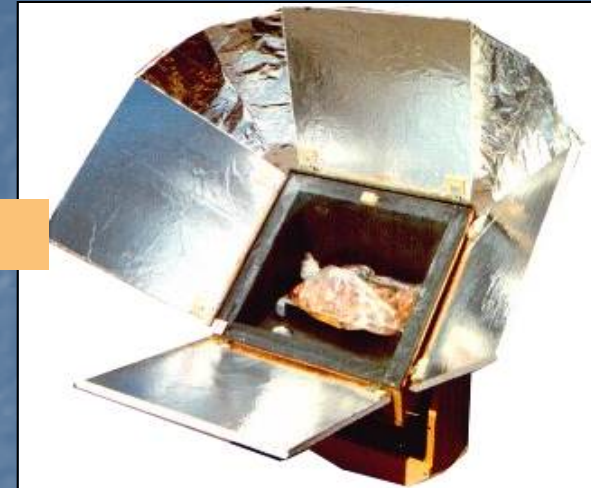
# Plataforma Solar de Almería-España



# Sistemas Solares Térmicos de Baja Potencia



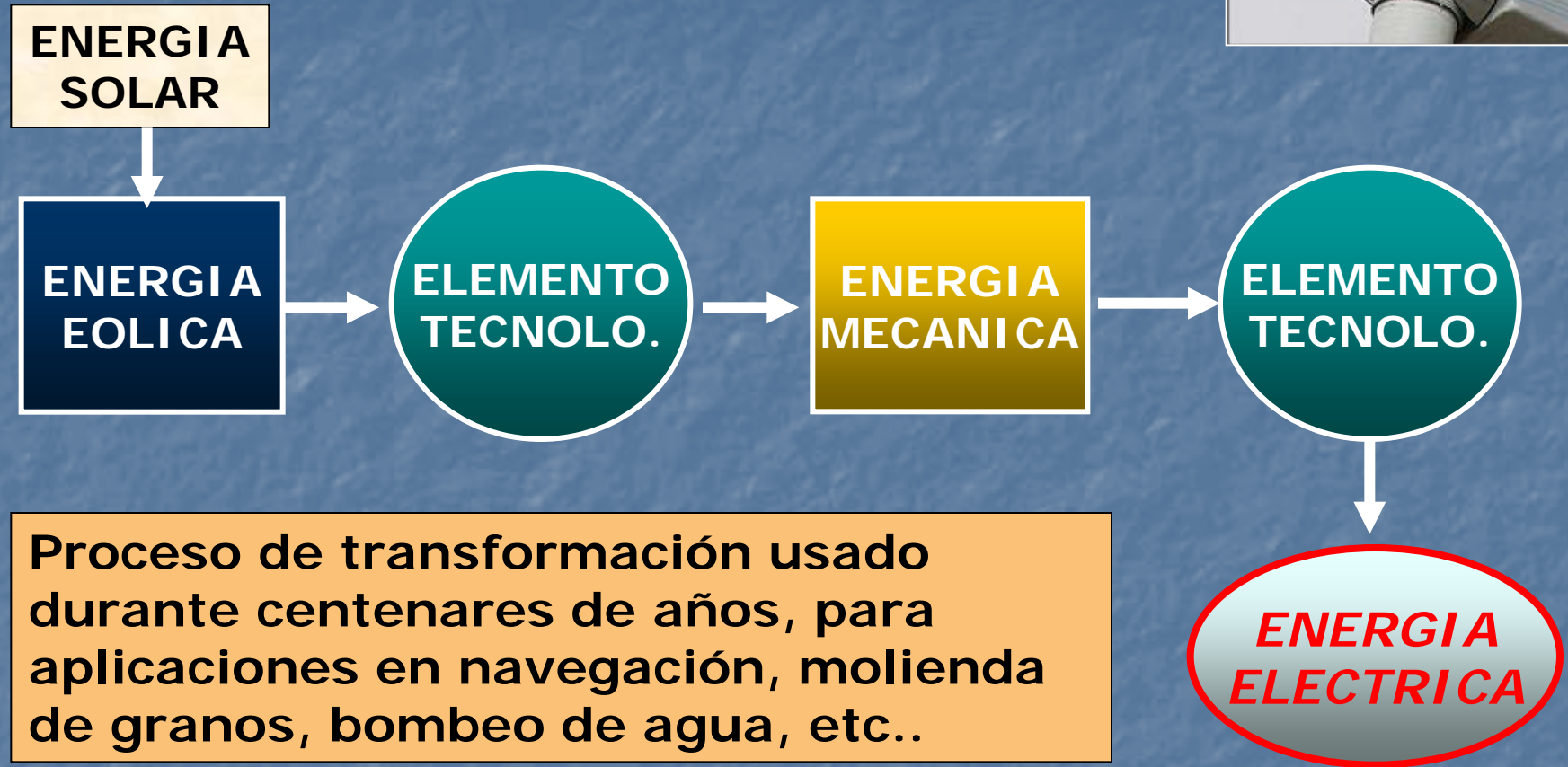
Cocinas Solares



Agua Caliente Sanitaria  
(400-700 Eu/m<sup>2</sup>,  
50 lt/m<sup>2</sup>)



# Sistema Eólico



En la actualidad, este proceso tiene como fin principal la *Generación de Energía Eléctrica*, vinculándose diversas áreas del conocimiento: planificación, meteorología, aerodinámica, electricidad, mecánica, civil.

# COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA TURBINA EOLICA



**Fundación:** Realizada de hormigón armado. Garantiza la estabilidad estática y dinámica de la TE. Depende del tipo de suelo.

**Torre:** Para capturar > energía. Las más comunes son las cónicas tubulares de acero de 3 tramos,  $L \approx 20$  m c/u con bridas y unidas entre sí mediante pernos. Las de celosía son más baratas pero de > impacto visual. También las hay de hormigón.

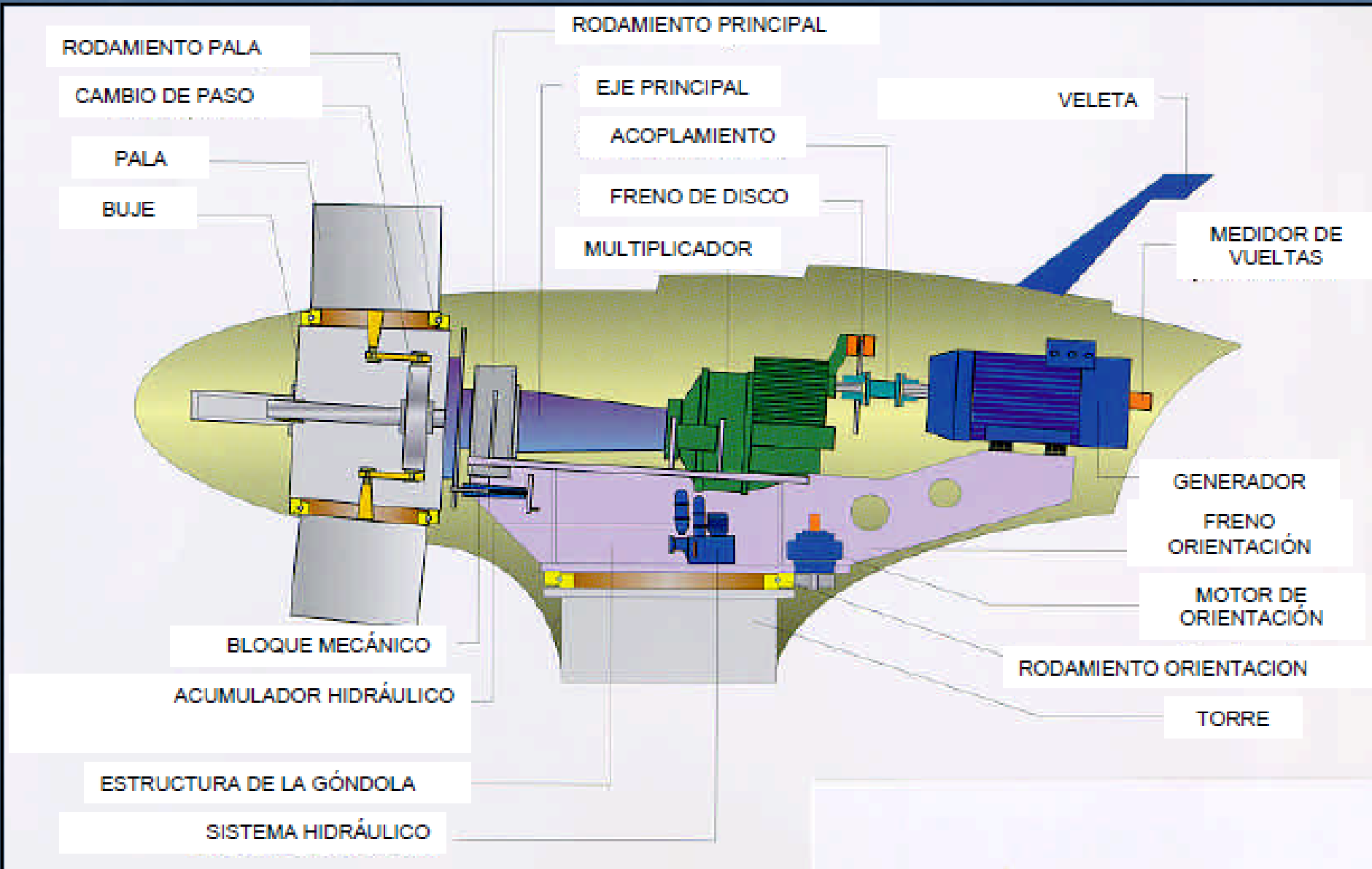
**Pala:** Elemento que convierte la energía del viento en energía mecánica rotante. Su perfil es el del ala de avión. De fibra de vidrio o de carbón, con epoxy o poliéster, mixto.

**Buje:** elemento central de acero o fe, que une el rotor con el eje principal de baja v.

**Rotor:** Buje + Palas

**Góndola:** Espacio que soporta la maquinaria (caja multiplicadora, generador, frenos, cojinetes, protecciones, sistemas de control)

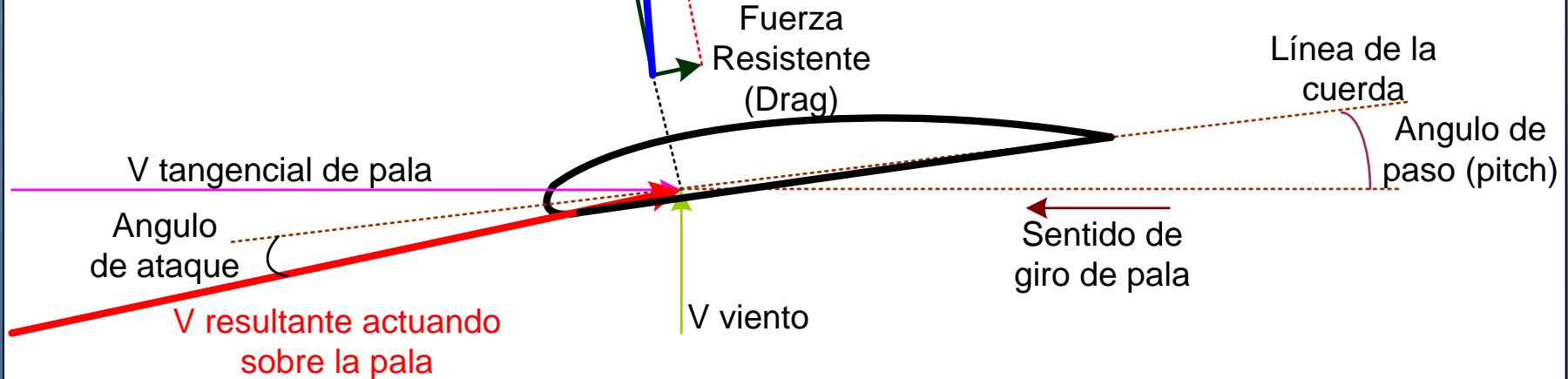
# Elementos en la Góndola de una TE



El viento global resulta de la existencia de diferentes temperaturas en diferentes lugares, rotación terrestre, etc.  
El viento local de las condiciones particulares del sitio.

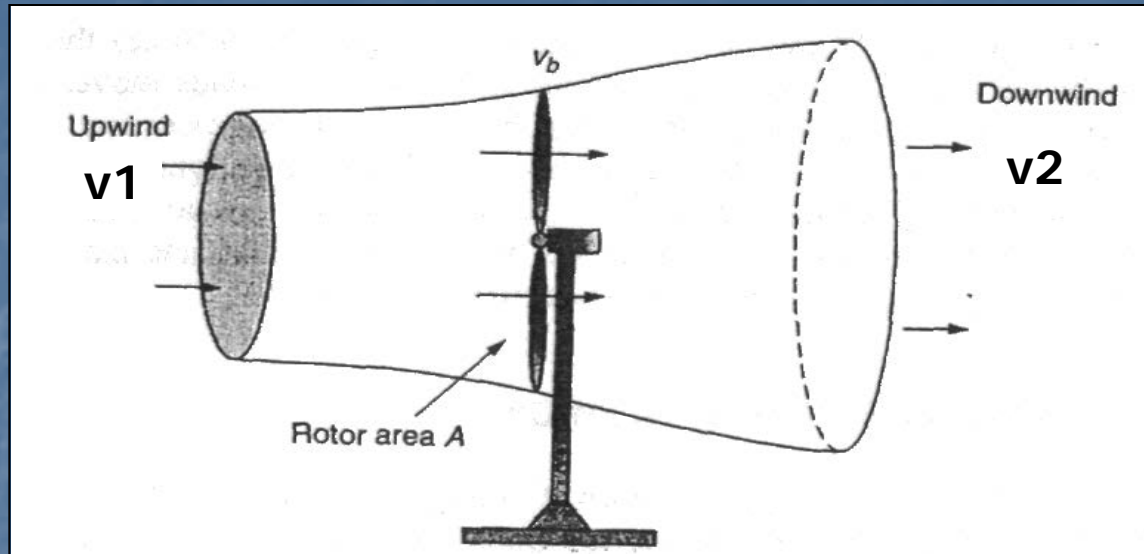
**MUY IMPORTANTE:** medición del viento → potencial energético

$$P_d / A = \frac{1}{2} \rho \times v^3 \text{ [W/m}^2\text{]}$$





# El $\eta$ ideal de una Turbina Eólica: $\eta$ de Betz



La potencia mecánica en el rotor:

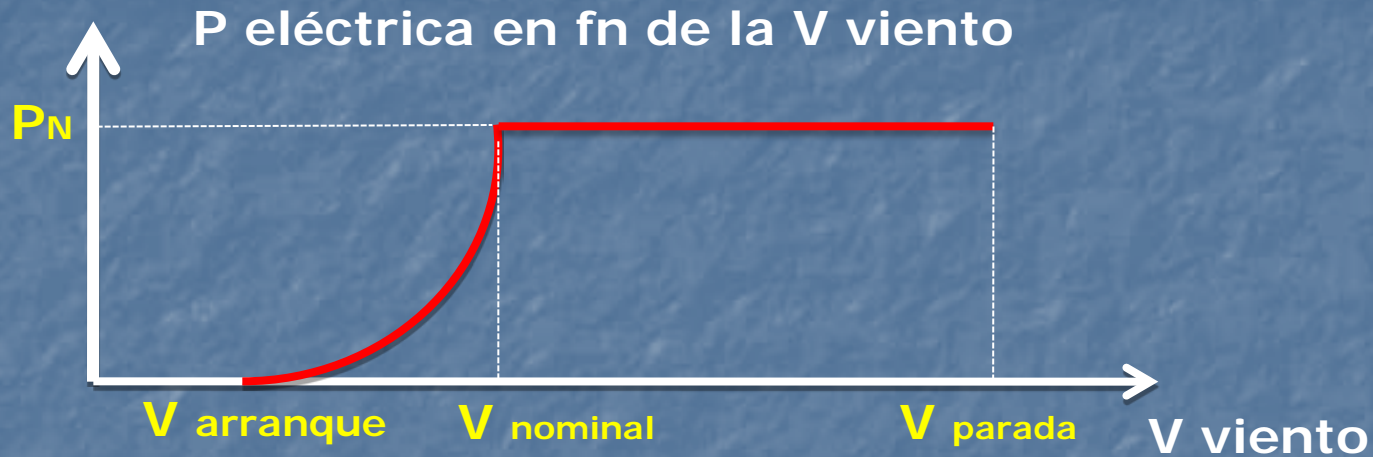
$$P_{rotor} = P_{viento} C_p = \frac{1}{2} \rho A v^3 \cdot C_p \quad C_p = \text{Coeficiente de Potencia}$$

$$k = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3} \rightarrow C_{p_{max}} = \eta_{Betz} = \frac{16}{27} \rightarrow 59,3\% \rightarrow P_{rotorMaximo} = P_{viento} \eta_{Betz}$$

El mejor  $C_p$  en la práctica es del orden de 45-50 %

## CURVA DE POTENCIA DE UNA TE

Es una de las informaciones técnicas más importantes:



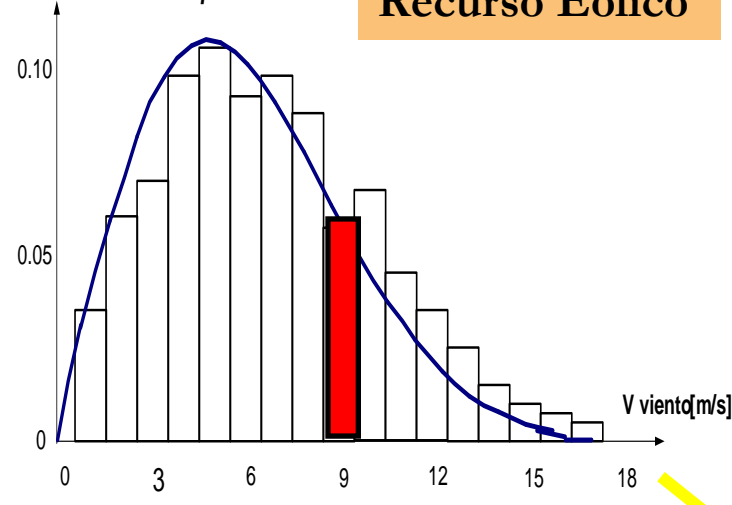
**V arranque** = mínima  $V_v$  para que el G venza pérdidas internas y comience a generar electricidad (3-5 m/s)

**V nominal** =  $V_v$  a la que el G comienza a entregar su  $P_{nominal}$   $P_N$ . Por encima de esa  $V_v$  se debe mantener la Potencia que entrega el G al valor  $P_N$  (12-15 m/s)

**V parada** = máxima  $V_v$  permitida para que el G genere electricidad. Se debe frenar el rotor, porque por encima de esta  $V_v$  hay peligro real de destrucción de la TE (24-30 m/s).

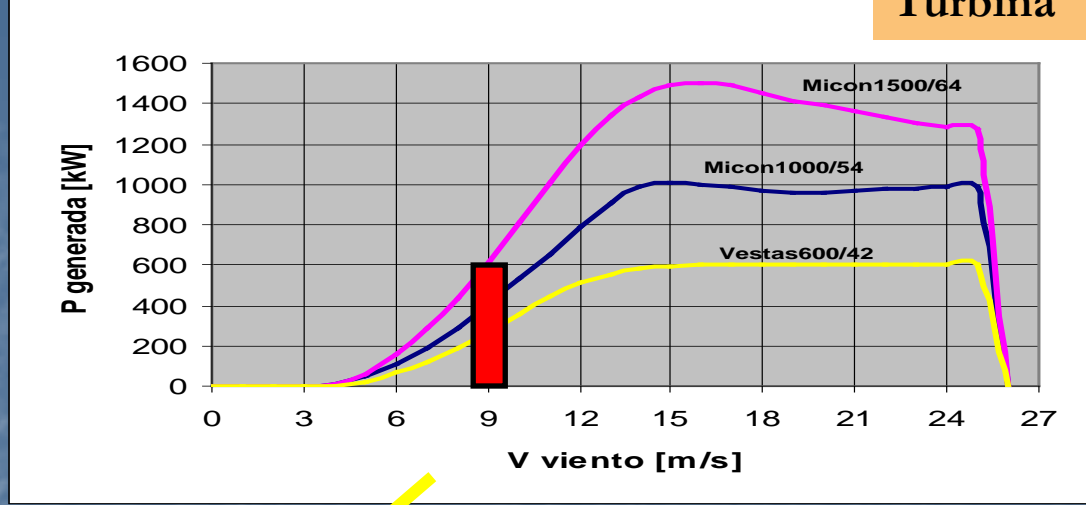
Función densidad de probabilidad

# Recurso Eólico

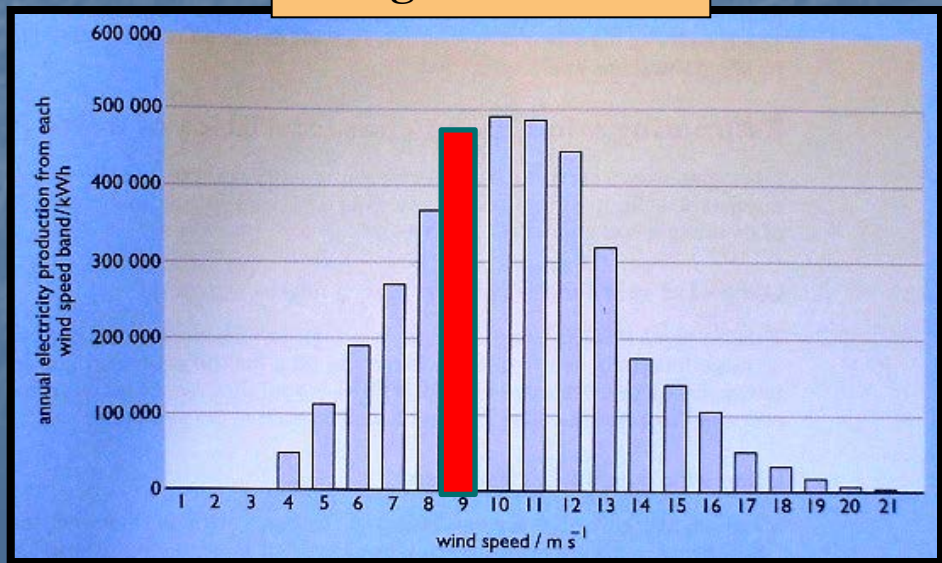


CURVAS DE POTENCIA

# Turbina



# Energía Producida



# TE modernas para Producción de Elect.



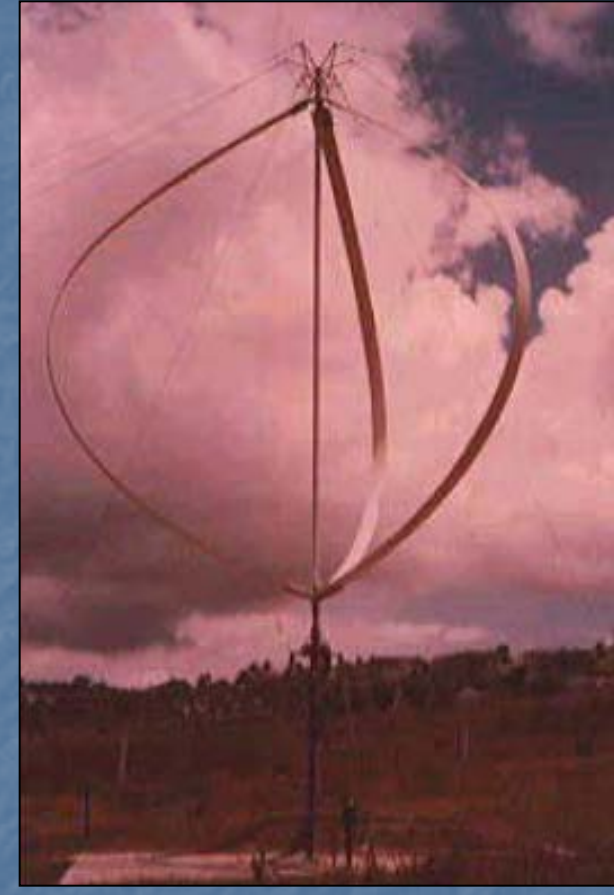
TE para Parques  
-orden de los MW-



TE aislada de la red  
100-5000 W



## TE de eje vertical



# Parque Eólico Actual: on y offshore



## Parque Eólico do Alto Minho, Portugal



$P = 240 \text{ MW}$   
 $E \text{ producida} = 667 \text{ [GWh/año]}$

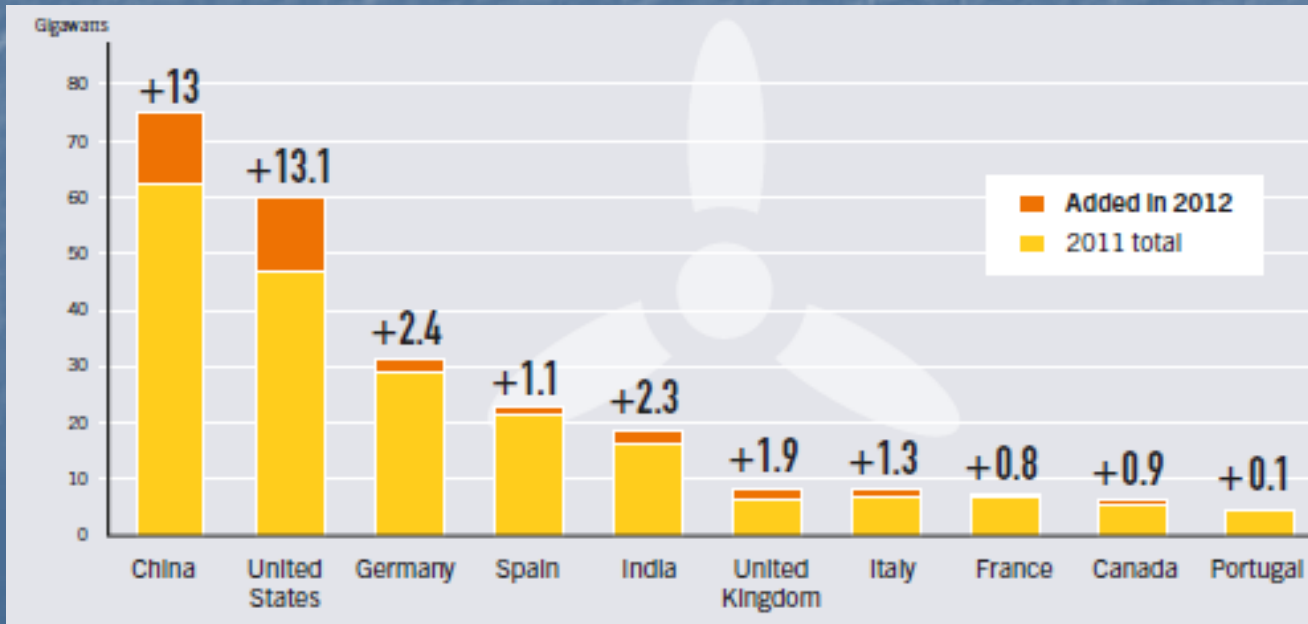
120 aerogeneradores con capacidad  
de 2MW cada uno, repartidos en  
cinco grupos, a lo largo de 30 km

Inversión = 343 10E6 euros

# Evolución de la Capacidad Eólica mundial



# Distribución de la capacidad eólica por países. 2012





# BIOENERGIA

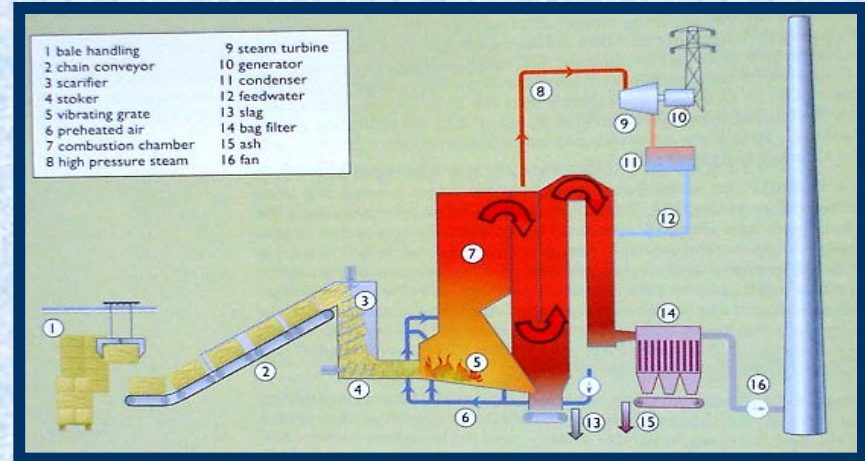
# Los combustibles derivados de la biomasa → BIOCOMBUSTIBLES:

➤ Materia residual forestal y/o agrícola (madera, pellets, astillas, bagazo, cáscara de arroz, hueso de aceituna, etc. ) → Combustión



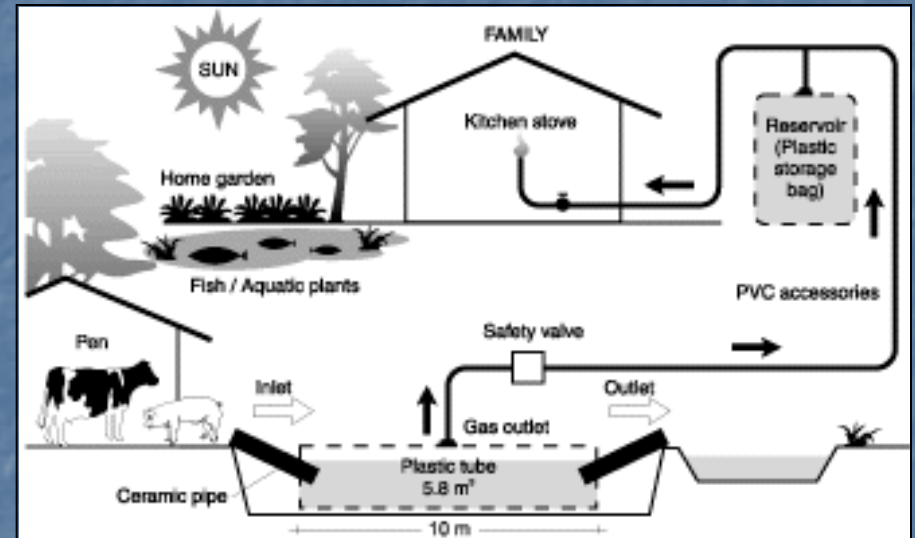
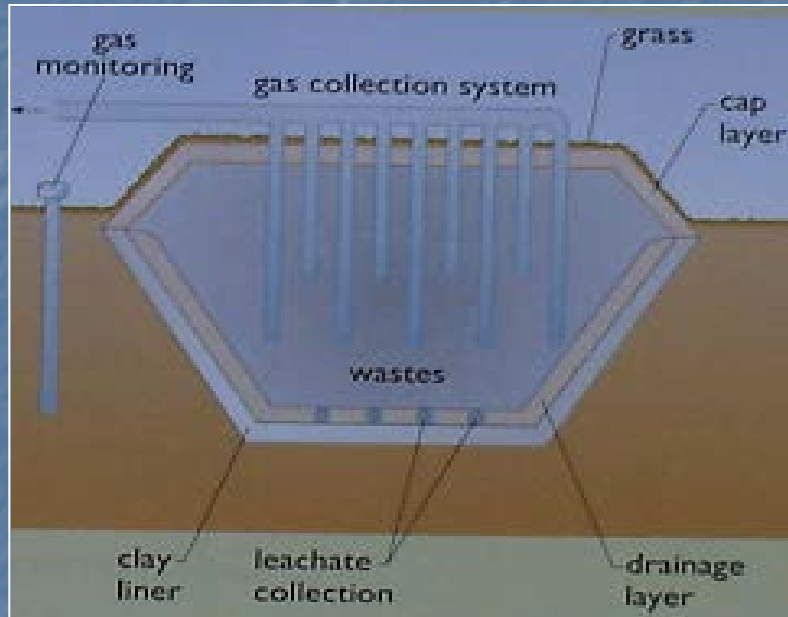
## Central Térmoelectrónica usando Biomasa

Digestor anaerobio de la Granja San Ramón en Requena (Valencia).



Costo: 1200-2000 [U\$/kW instalado]

➤ Materia orgánica (heces animales, residuos agrícolas) → acción de bacterias metanogénicas en ambiente anaeróbico (biodigestor) → biogas → Combustible para generar calor.

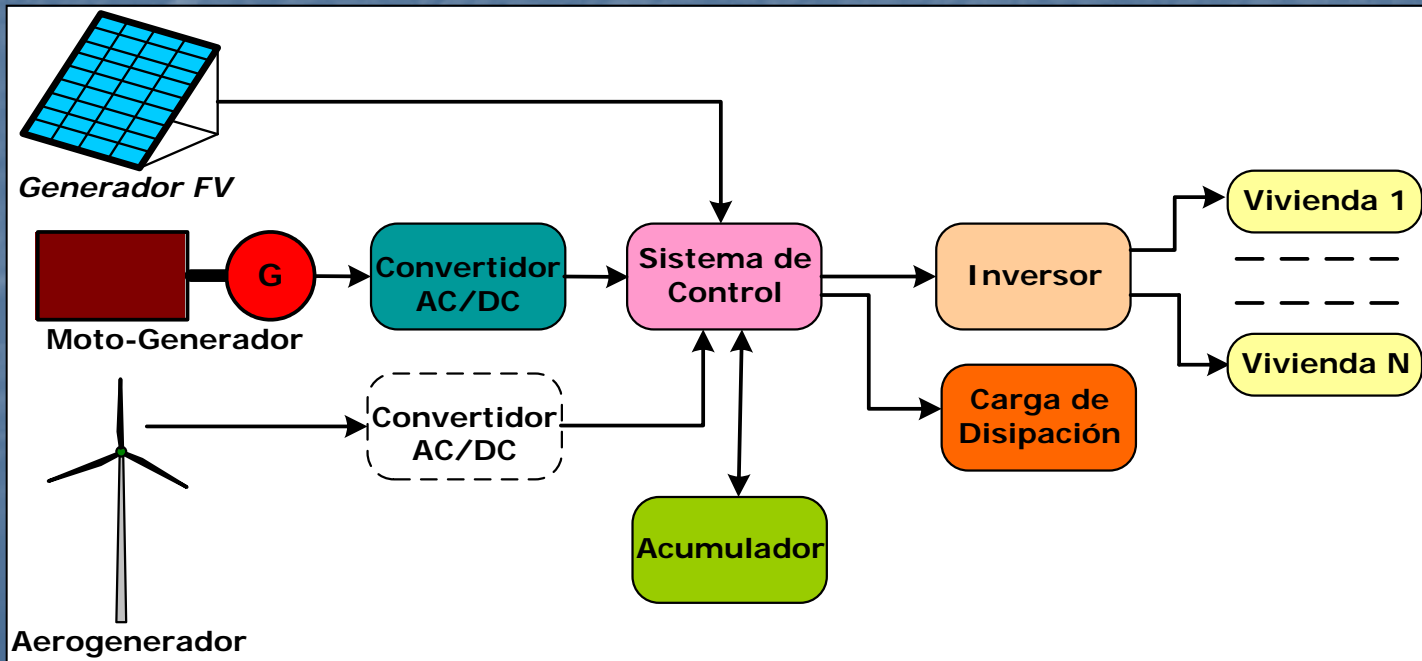
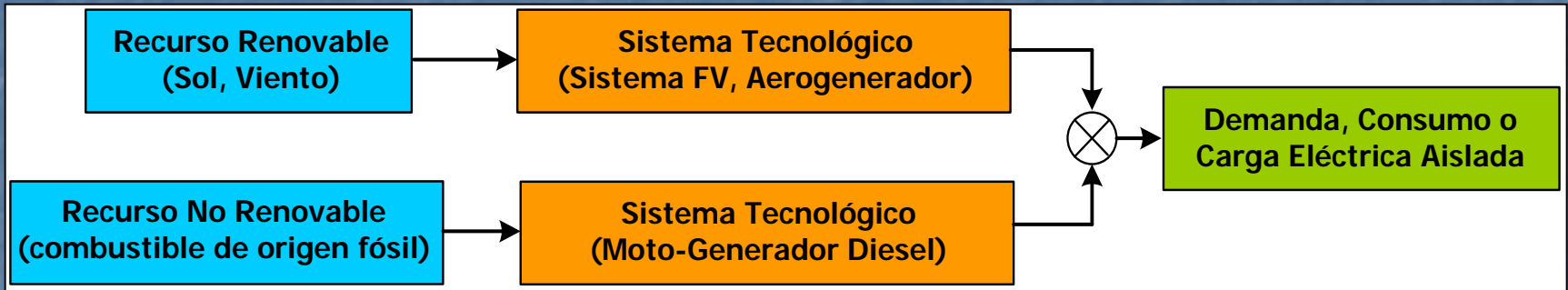


## Biocarburantes:

➤ *Caña de azúcar, remolacha, cereales* → proceso de fermentación de azúcares → bioetanol (alternativo a la nafta).

➤ *Aceites vegetales (maíz, soja, girasol, colza, jatropha, palma)* → proceso de transesterificación (agregado de metanol) → biodiesel (alternativo al dieseloil).

# Sistemas Híbridos: Diferentes sistemas tecnológicos que aprovechan diferentes energías para producir electricidad

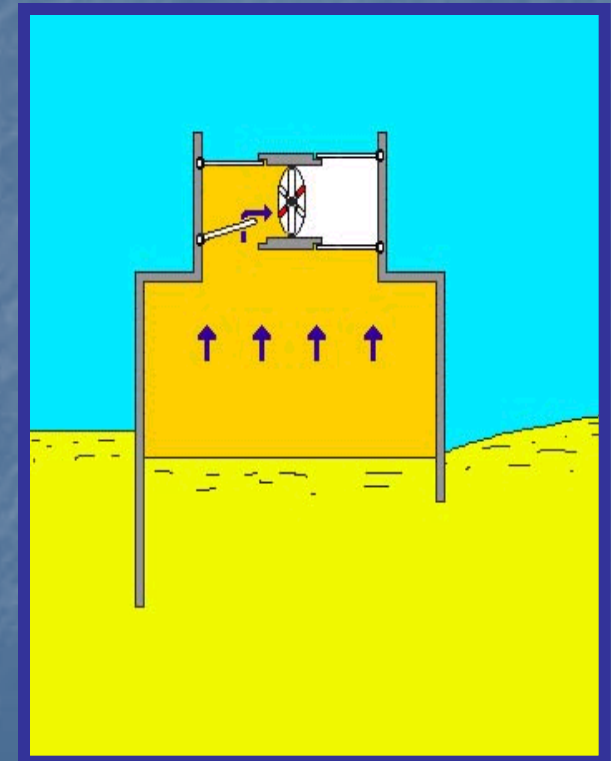
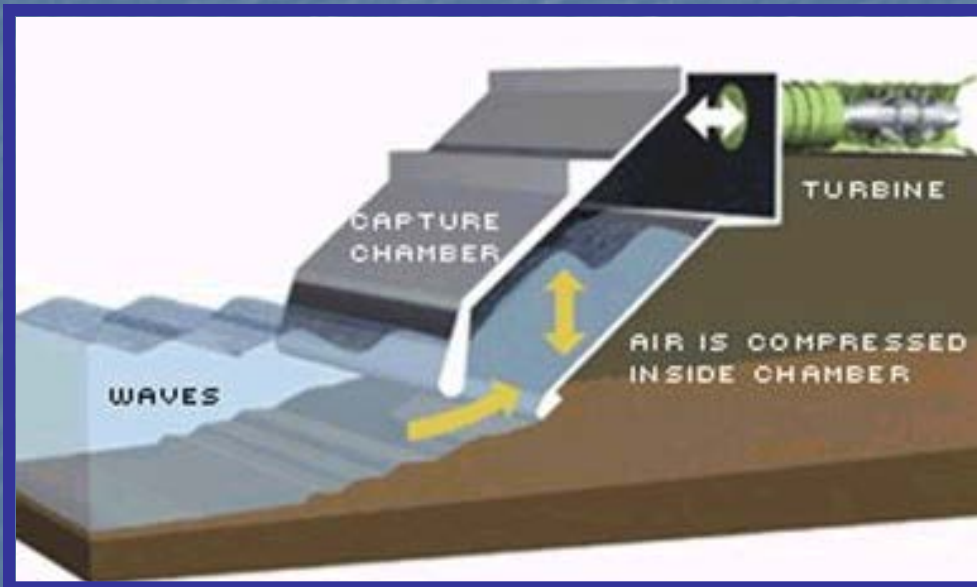


## ENERGIA DE LAS OLAS

El viento sopla sobre el océano → **olas**.

Las olas resultan de procesos muy complejos.

Están caracterizadas por su altura, longitud de onda, velocidad de propagación, forma, densidad del agua.



# Sistema Pelamis (Serpiente de Mar)

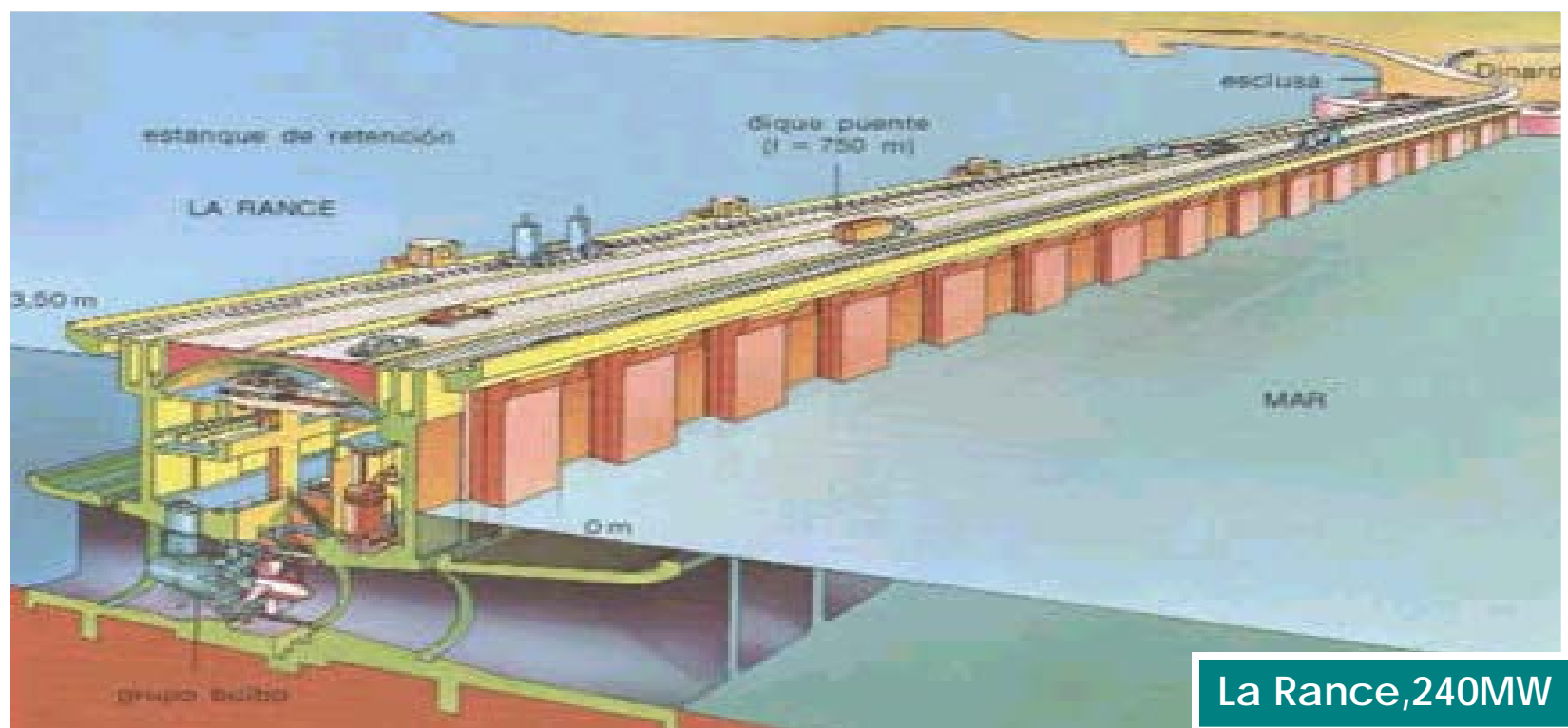


# Sistema de Boyas



# ENERGIA MAREOMOTRIZ

Energía producida por el movimiento cíclico de las masas oceánicas sobre la costa (mareas).



Se construye un embalse conectado al mar a través de aberturas (donde se disponen Turbinas tipo bulbo) controladas por válvulas. Se las cierra para que se establezca una h conveniente entre embalse y mar, y se las abre para permitir que el agua fluya en forma alternada por las turbinas, produciendo energía.

# ENERGIA GEOTERMICA

Su origen no es el sol, sino el calor interno de la Tierra por desintegración de elementos radiactivos.

Se realizan perforaciones de hasta 5000 m para encontrar vapor o agua caliente (se usan también geiseros y grietas).

El vapor y/o agua se purifican en boca de pozo → proceso de transformación → el vapor pasa por las turbinas → se condensa y se reinyecta al pozo.

