

Cáceres: 23 y 24 de Mayo de 2007  
Energías Renovables y Cambio Climático

## **Energía Eólica**

### **Situación actual y expectativas de futuro**

Emilio Menéndez Pérez  
Dr. Ingeniero de Minas  
Profesor Honorario UAM y UPM

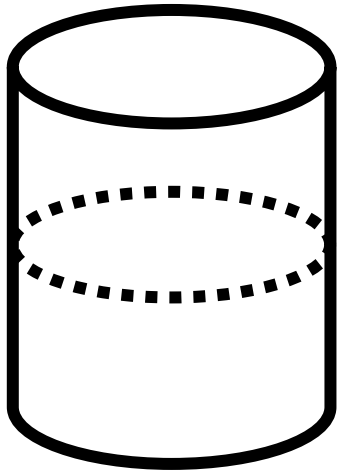
## **ÍNDICE:**

- 1.- Condicionantes energéticos y ambientales**
- 2.- Tecnología eólica. Expectativas de futuro**
- 3.- Eólica en España. Aspectos sociales y económicos**
- 4.- Necesidades futuras en España**
- 5.-Propuestas de grandes proyectos eólicos**
- 6.- El desarrollo de la eólica en generación distribuida**

## 1.- CONDICIONANTES ENERGÉTICOS Y AMBIENTALES:

- Dos problemas graves que aparecen simultáneamente
  - + Límites en el suministro de hidrocarburos
    - La situación puede ser crítica en automoción y transporte
  - + Consciencia del cambio climático
    - Obliga a plantearse un esquema de cooperación global
- En la Unión Europea se asumen unos objetivos moderadamente ambiciosos
- Las energías renovables son necesarias en el sistema energético global
  - + El objetivo sería que en el año 2040 hubiera una participación del 50%
    - Extendido a todo el mundo
  - + Las inversiones son muy elevadas. Los pobres sin recursos para ello

Límites en el suministro  
de hidrocarburos



Diseño, negociación y pacto de  
un nuevo modelo energético y  
económico social.

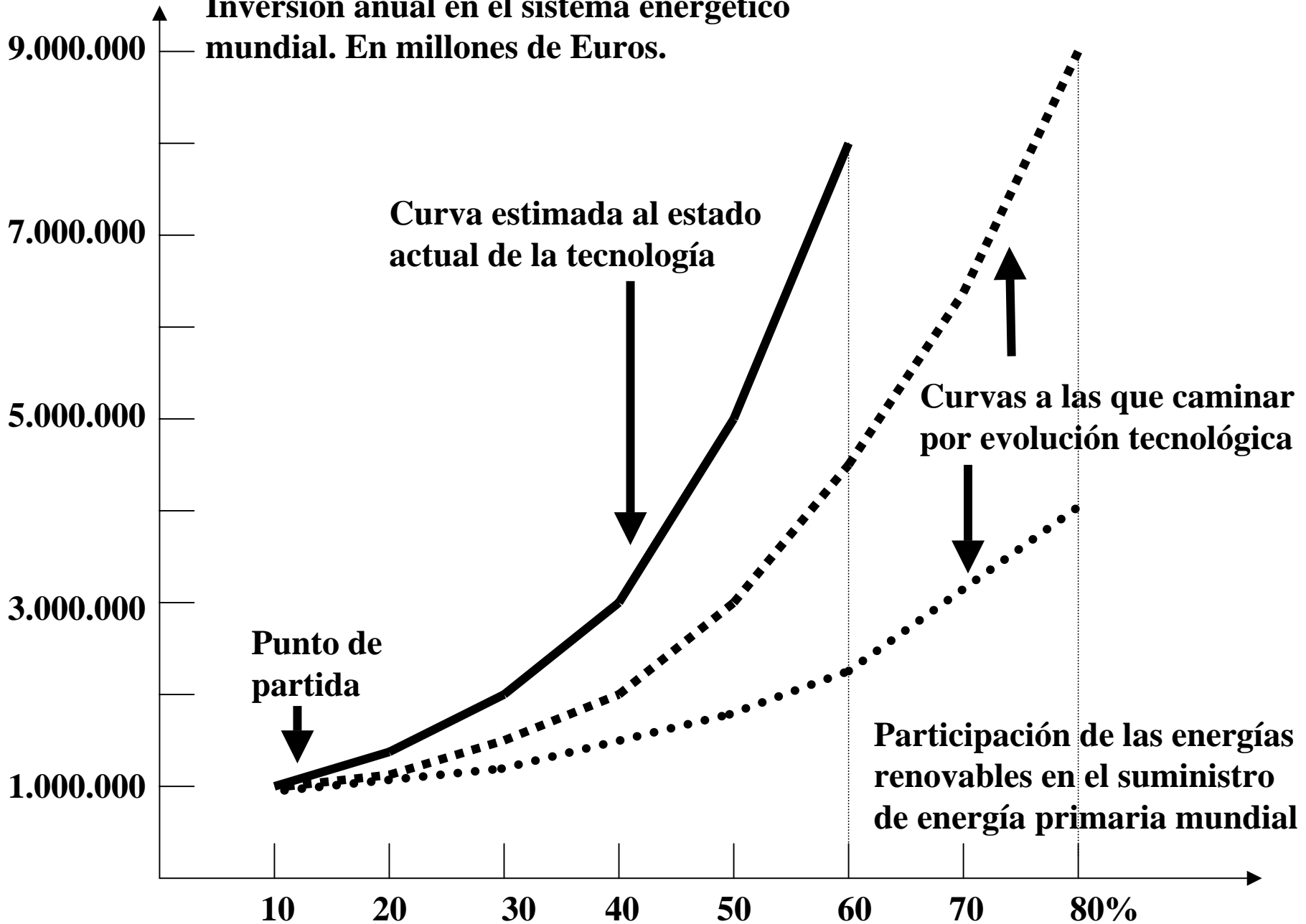


Incidencias del  
Cambio Climático

## PROPUESTAS EUROPEAS PARA EL AÑO 2020:

- Incrementar la eficiencia en los usos de la energía un 20%
  - + Referido a consumo de energía por unidad de PIB generado
- Llevar las energías renovables a aportar un 20% de la energía primaria
  - + Biocarburantes un 10% de los combustibles de automoción
  - + Electricidad de origen renovable más de un tercio
- Reducir las emisiones de **CO2** en un 20% respecto a las del año 1990
- Avanzar en el desarrollo de nuevas tecnologías energéticas limpias
  - + El VII Programa Marco presta atención especial a la energía

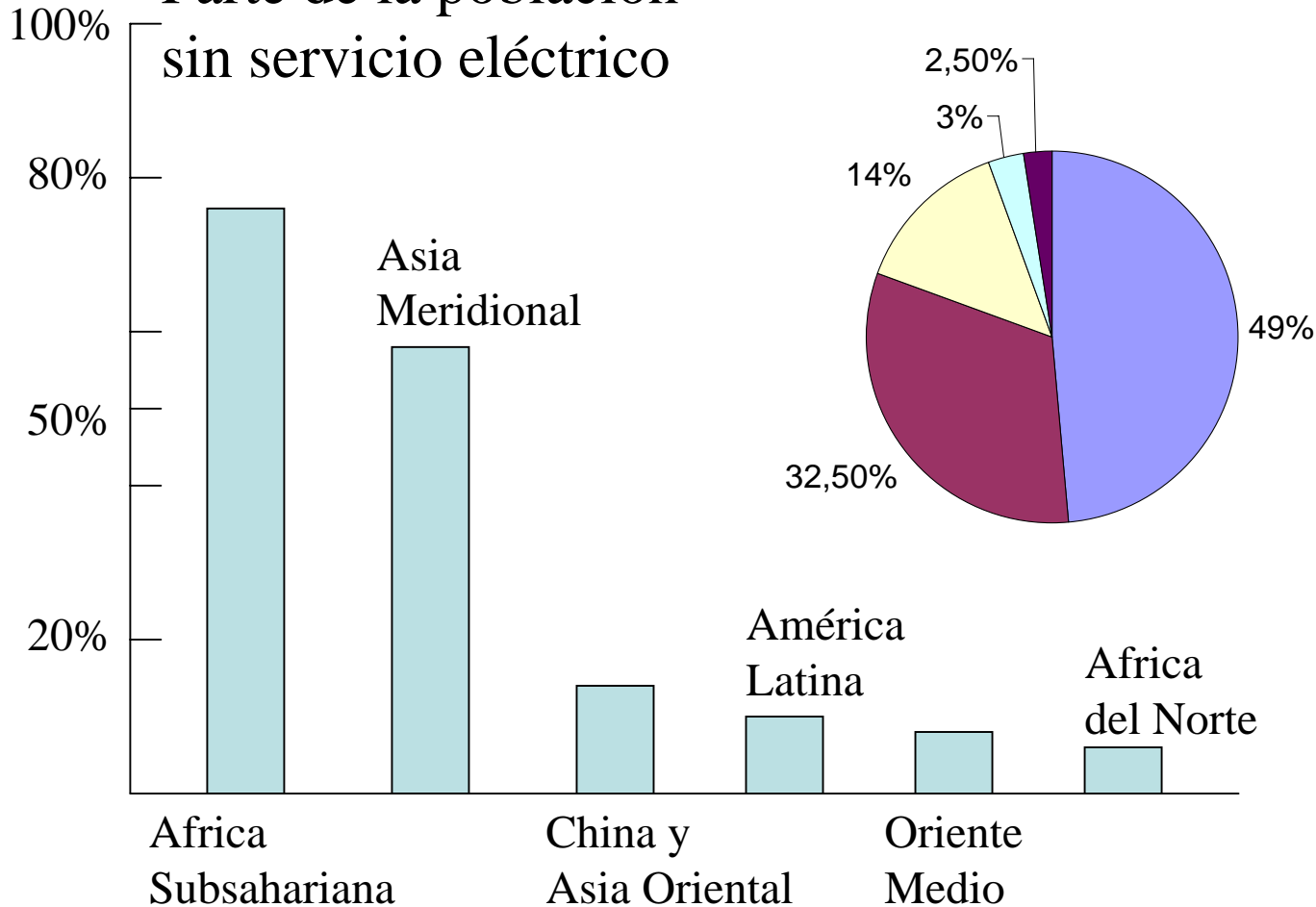
**Inversión anual en el sistema energético mundial. En millones de Euros.**



## LA ENERGÍA ESTÁ GLOBALIZADA Y PRESENTA CUESTIONES CRÍTICAS:

- La demanda energética ya es de 10.000 millones de tep anuales
  - + Los países pobres tienen carencias en el suministro energético
- Las inversiones necesarias para desarrollar el sistema energético son elevadas
  - + 2,5% del Producto Económico Mundial
- Un fuerte interrogante es cual será la energía de automoción y transporte
  - + La tecnología del hidrógeno no está madura y es cara
- Se camina hacia propuestas de menor utilización de los combustibles fósiles
  - + A veces sugiriendo una fuerte presencia de la energía nuclear
- Es necesario una reflexión pragmática sobre el futuro económico y energético
  - + Las energías renovables tienen dificultades en altas participaciones

# Parte de la población sin servicio eléctrico



- La cuarta parte de la población mundial no accede a la luz eléctrica
- Quizás pudieran comprar motores de combustión: Petróleo y G.E.I.
  - O se les puede ayudar a que dispongan de Energías Renovables

Ambos hidrocarburos:

- Carburantes para transporte y otros combustibles

- Eventualmente generación de electricidad

Gas Natural; 18%

Petróleo; 20%

Carbón; 6%

Electricidad. En buena medida como soporte de la red

Energías Renovables; 28%

Electricidad y producción de hidrógeno

Energía Nuclear; 28%

- Elevada inversión global

- Necesidad de cooperación

---

Escenario energético al año 2050 con el objeto de estabilizar la concentración de CO<sub>2</sub> equivalente en la troposfera en 550 ppmv:

- Se asume que el consumo global de energía se estabiliza en 13.500 millones de tep desde el año 2020
- Es preciso avanzar tecnológicamente desde el momento actual en el vector hidrógeno y en la cooperación internacional, Norte - Sur

# Los escalones de las Energías Renovables

Energía Primaria.  
Grado de participación  
en el suministro de E.P.

Incremento de la  
información y  
del diálogo  
social.

## 40 a 80% de la Energía Primaria:

- Cambio tecnológico profundo
- Gestión energética integrada
- Nuevo esquema de colaboración
- Gobernanza global democrática

## 20 a 40% de la Energía Primaria:

- Necesidad de cambio de modelo energético y social
- Amplia colaboración entre países ricos y pobres

## 20% de la Energía Primaria:

- Esfuerzo factible en los países desarrollados
- Necesidad de ayuda hacia los países pobres

Año 2020

fecha objetivo

Siglo XXI

## 2.- TECNOLOGÍA EÓLICA. EXPECTATIVAS DE FUTURO:

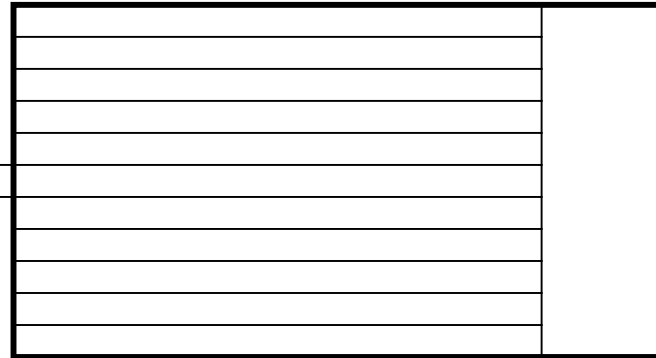
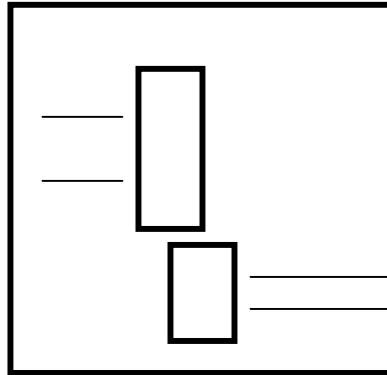
- Tecnología madura en aerogeneradores de “Primera Generación”
  - + Necesidad de mejorar la seguridad de operación y la predicción
- Expectativas de nuevos diseños de aerogeneradores:
  - + Grandes máquinas de más de 5 MW de potencia
  - + Aerogeneradores para vientos bajos y frecuentes
  - + Eólica marina. Tipología de anclajes y dimensiones de máquina
- La gran cuestión del almacenamiento de electricidad
  - + Hoy bombeo hidráulico. Mañana otras opciones
- La posibilidad de producción de hidrógeno alternativa a la electricidad
  - + Inyección en las redes de gas natural.- El caso holandés

## **Evolución del Rotor:**

- Palas de paso fijo
- Palas de paso variable
- Velocidad variable

## **Generador Eléctrico:**

- Motor Asíncrono
- Motor Síncrono
- Nueva Electrónica de Potencia
- Calidad y Fiabilidad en la red



## **Caja Multiplicadora**

- Mejora de diseño
- Desaparece en nuevos aerogeneradores

Mejor rendimiento energético

Control y regulación del vertido a red

**Evolución de los aerogeneradores de eje horizontal**

**Longitud  
de pala.  
50 a 70 m**

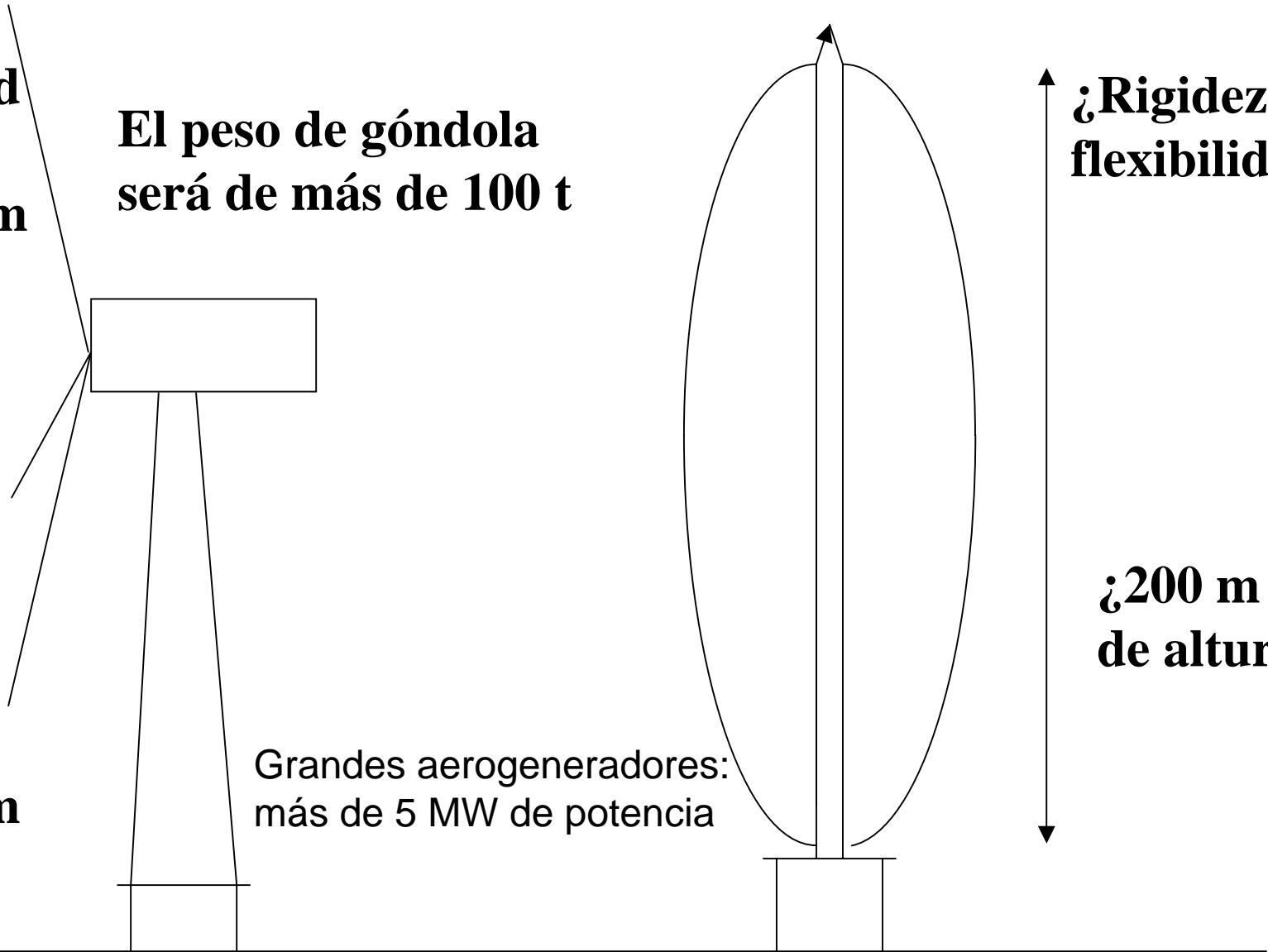
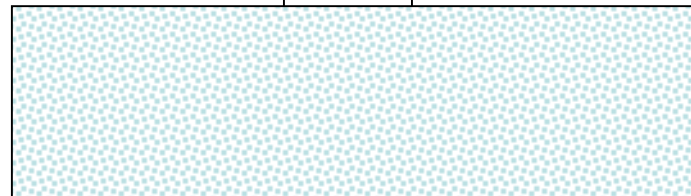
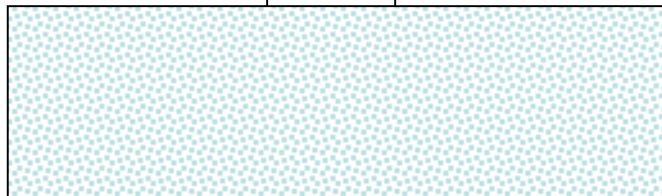
**El peso de góndola  
será de más de 100 t**

**¿Rigidez o  
flexibilidad?**

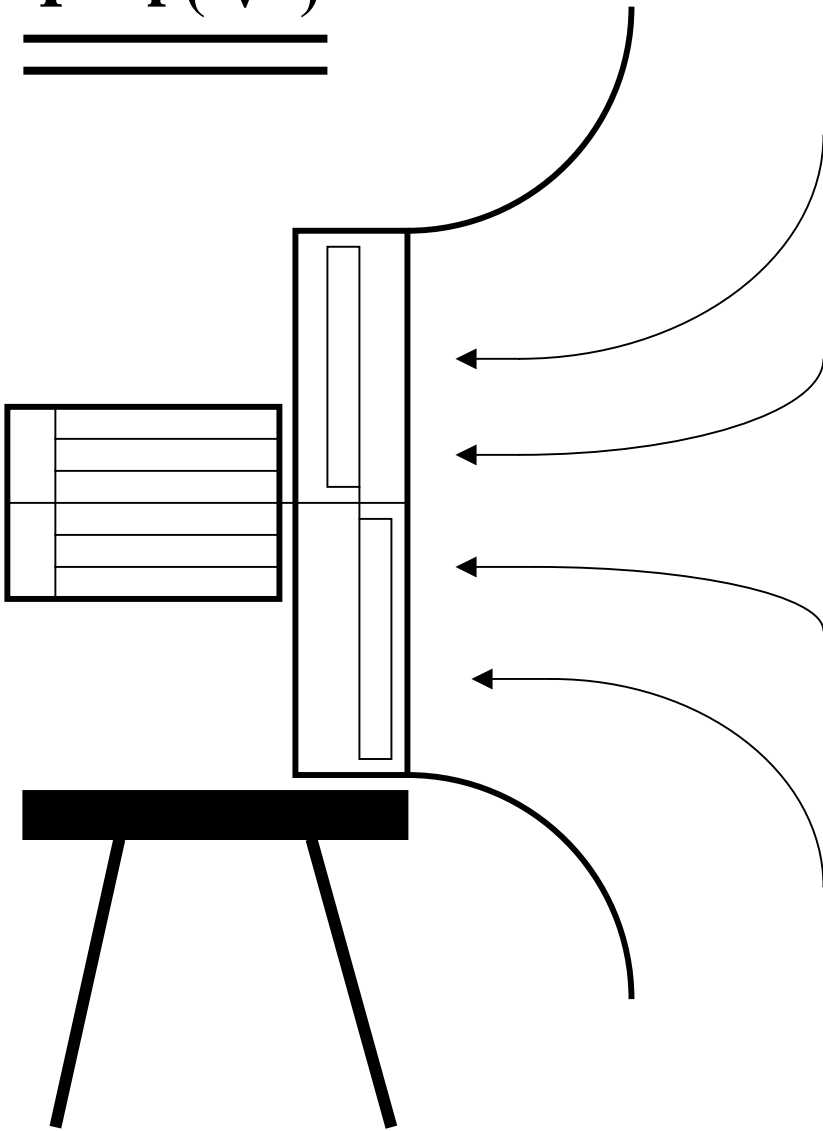
**80 a  
100 m**

**Grandes aerogeneradores:  
más de 5 MW de potencia**

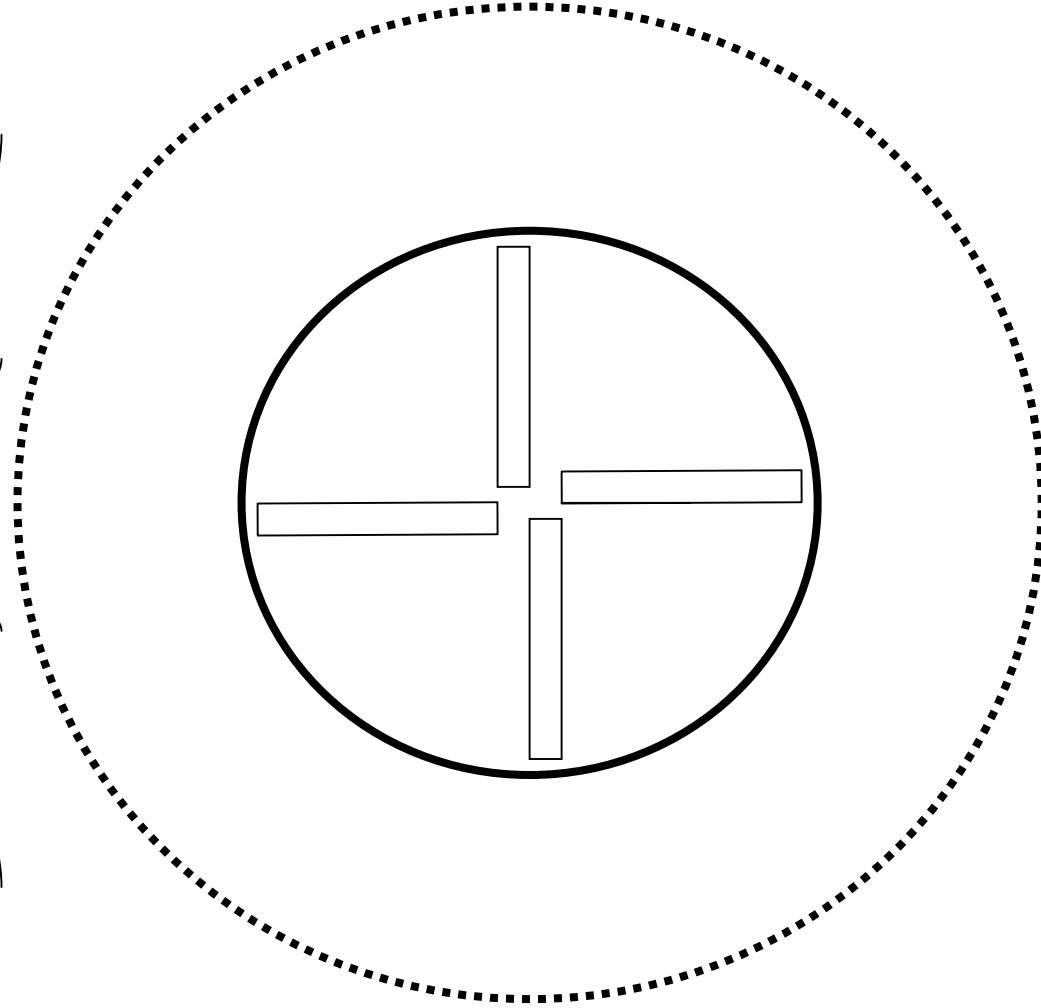
**¿200 m  
de altura?**



$$\underline{\underline{P = f(V^3)}}$$



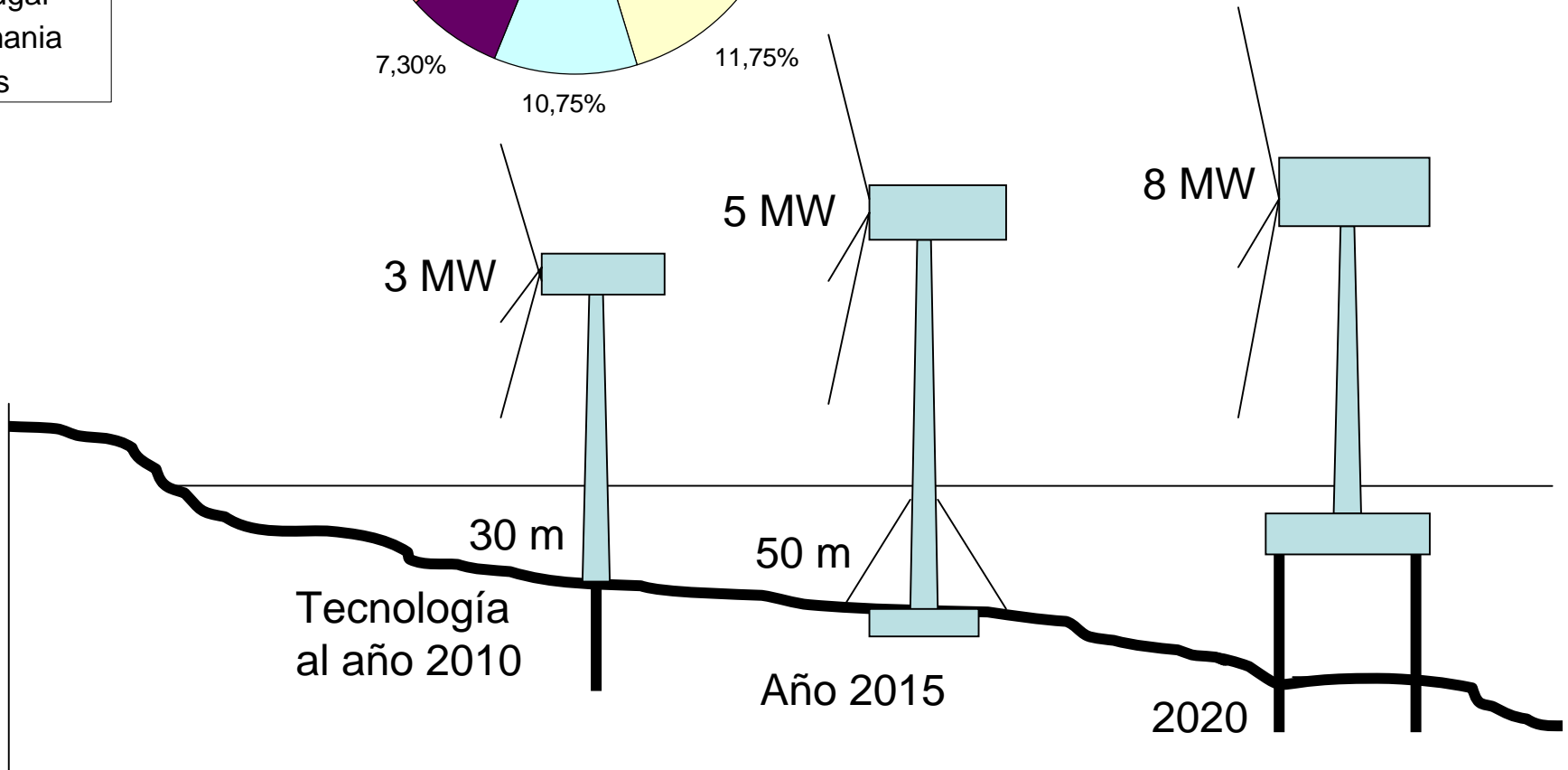
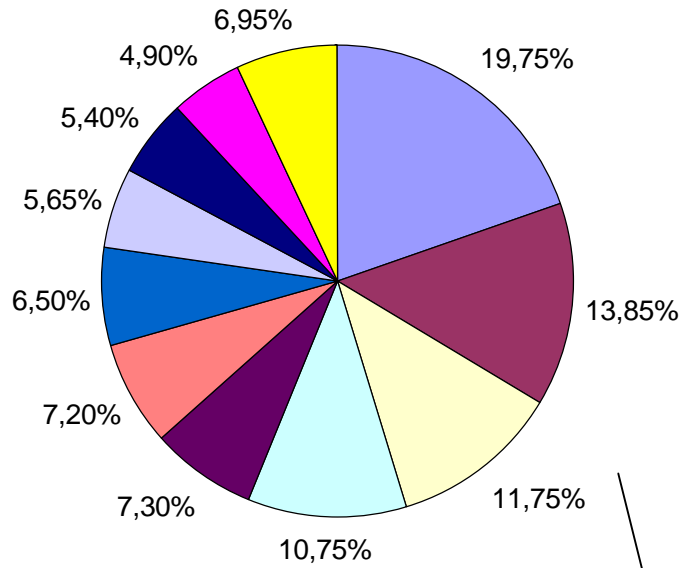
Estructura soporte  
Giro controlado



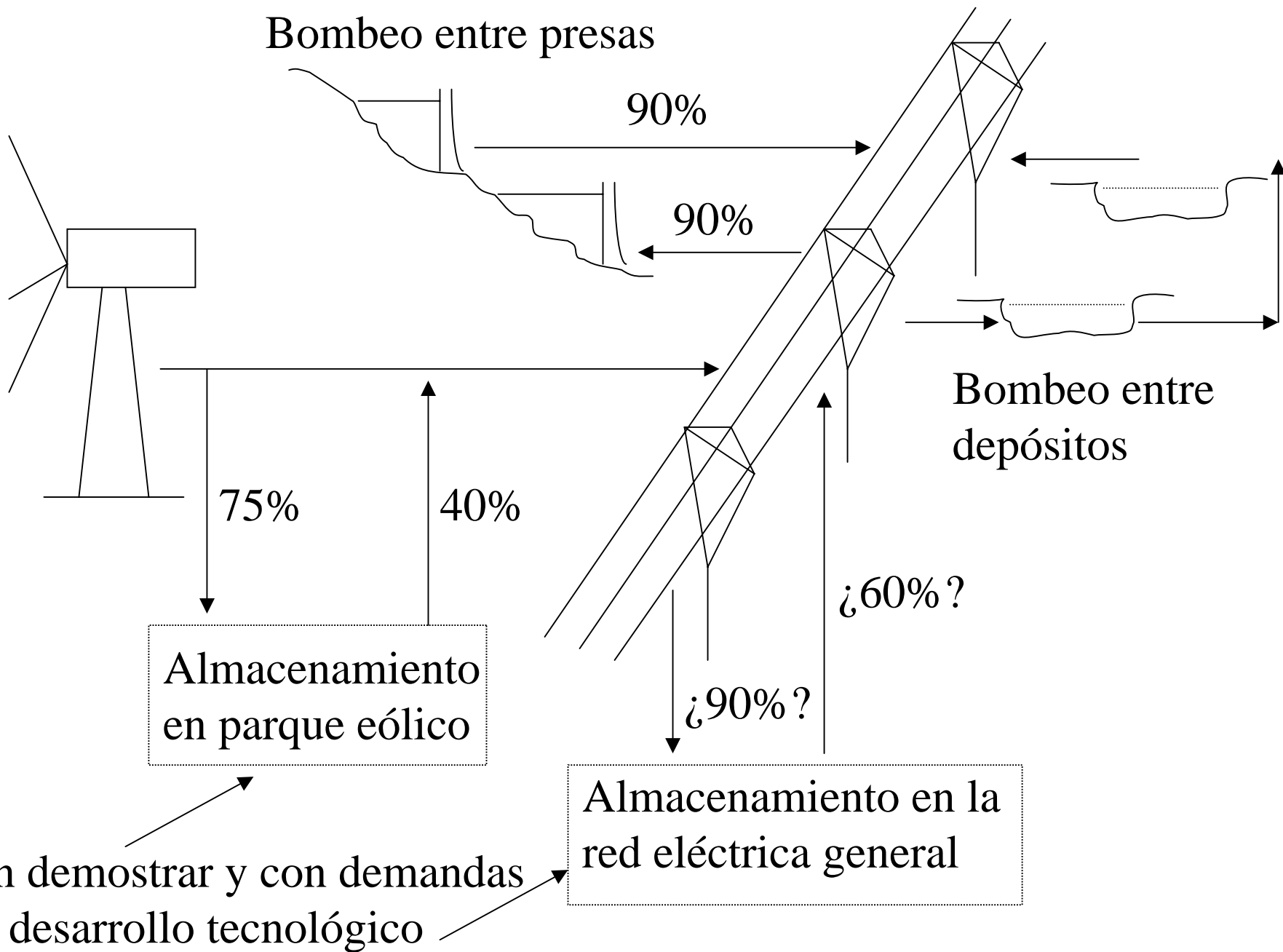
Aumento de velocidad en razón  
inversa a la disminución de la  
superficie de paso de la corriente

•Se estima que el recurso de eólica marina recuperable en el año 2020 será de:

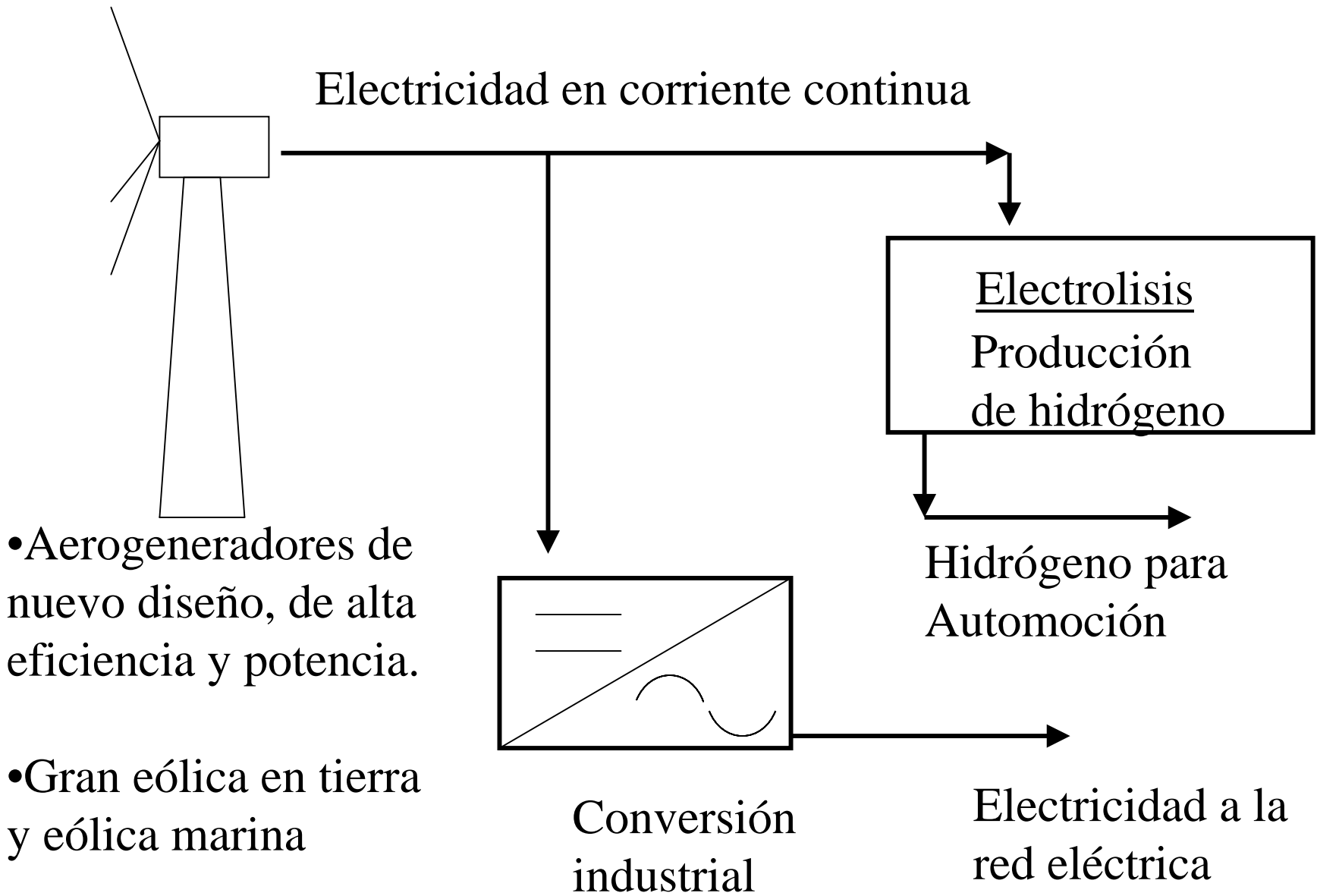
- 236.600 MW



# Bombeo entre presas



Sin demostrar y con demandas de desarrollo tecnológico



- Aerogeneradores de nuevo diseño, de alta eficiencia y potencia.

- Gran eólica en tierra y eólica marina

- Inversión específica en “Eólica Off Shore”:  
2.500 Euros/kW, incluyendo planta de electrolisis para hidrógeno

Coste de la energía en euros  
para recorrer 100 km

30

20

14

10

6

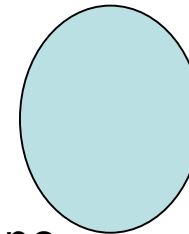
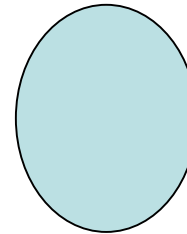
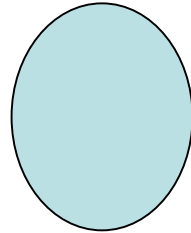
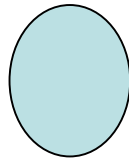
2

Automóvil de motor de  
combustión con hidrógeno

Automóvil con celdas de  
combustible e hidrógeno

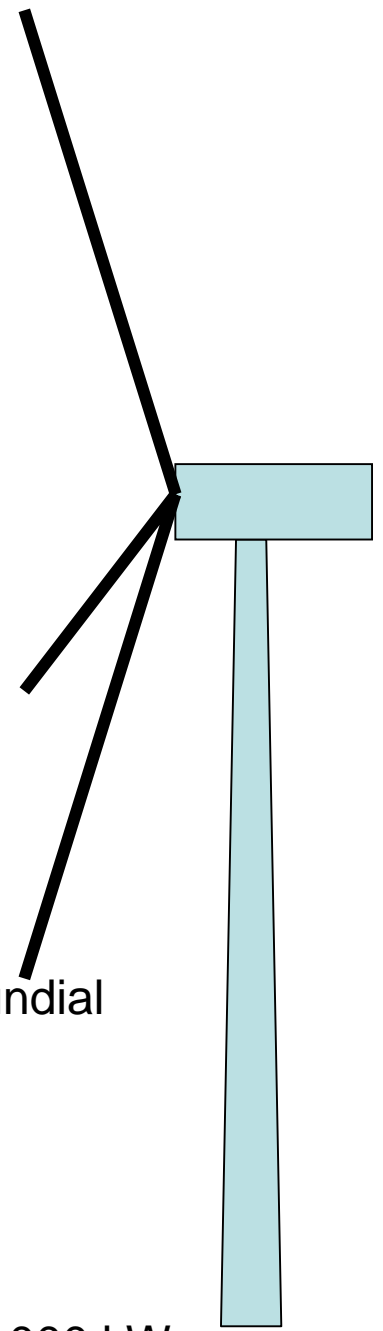
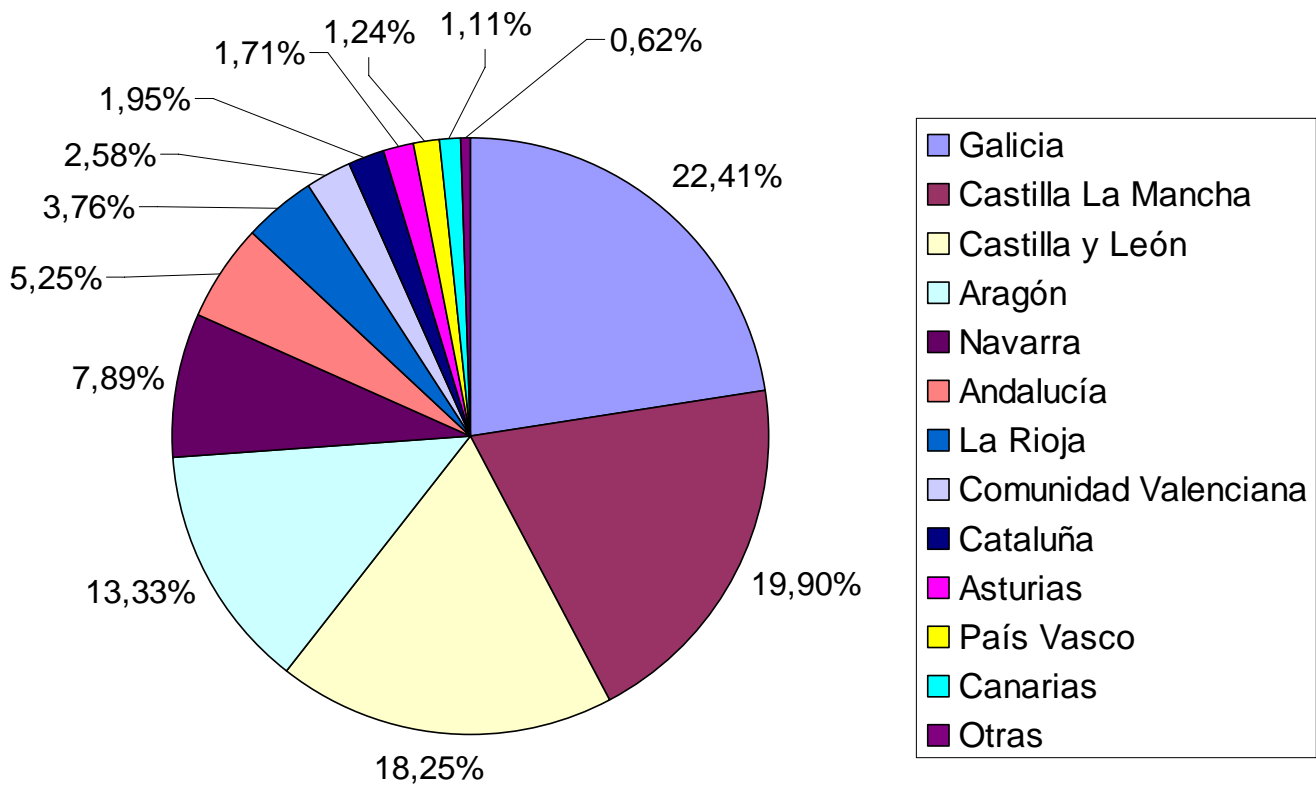
Automóvil de accionamiento  
eléctrico, con baterías

Automóviles actuales con carburantes derivados del petróleo  
Incluye los impuestos de combustibles de automoción



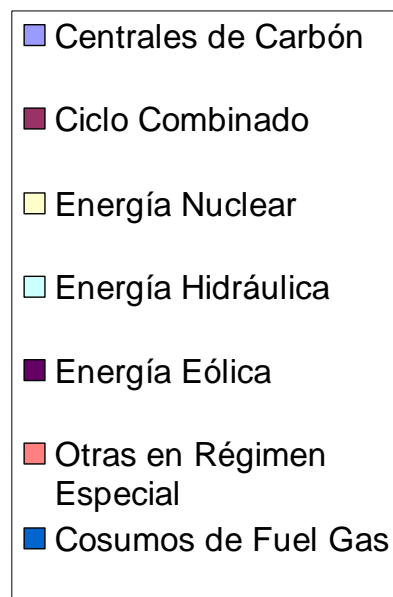
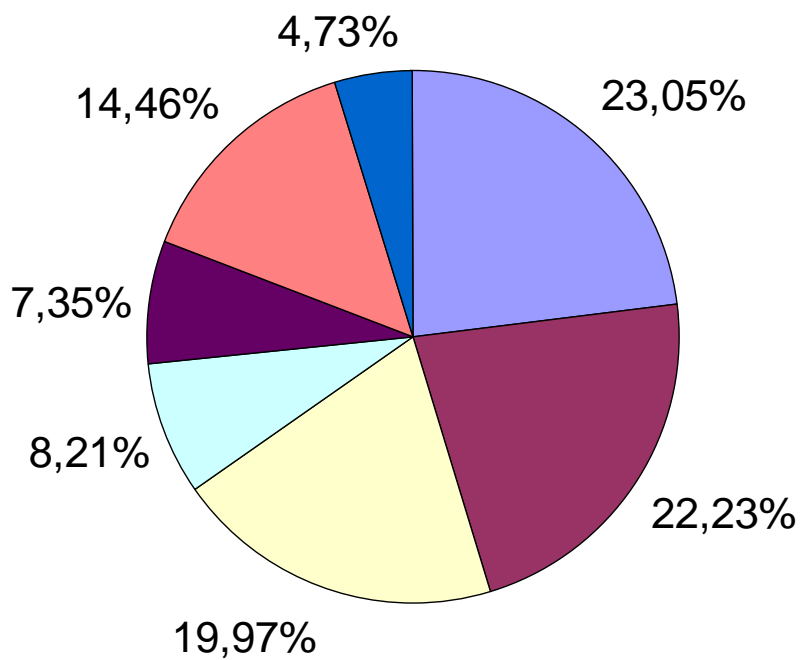
### 3.- EÓLICA EN ESPAÑA. ASPECTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS:

- Desarrollo continuado desde la década de los ochenta. 25 Años de eólica eléctrica
  - + 12.000 MW instalados. 8% de la generación de electricidad bruta
  - + Comunidades Autónomas con desarrollo inicial. Otras no
  - + Aparece una crítica social y ambiental. “Efecto Sierra de Ronda”
- Industria de fabricación y mantenimiento de aerogeneradores y parques eólicos
  - + 15.000 empleos industriales en fábrica y campo
  - + El empleo total puede estimarse en unos 50.000
- Los flujos monetarios en la industria eólica merecen una exposición pública
  - + Primas: Por cada 10.000 MW instalados unos 600 millones de euros/año
  - + El retorno monetario al entorno local es bajo en España. No en Alemania



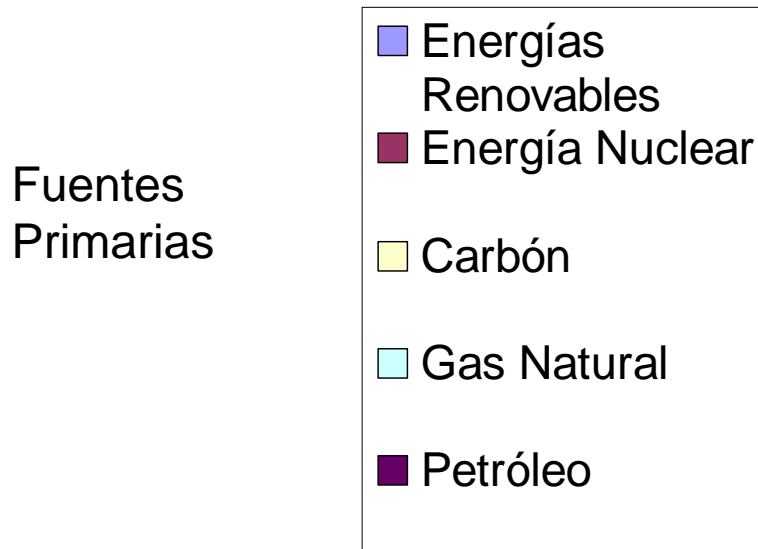
En España, a finales de 2006:

- Potencia eólica instalada.- 11.615 MW, la sexta parte del total mundial
- Algo más del 7% de la generación española de electricidad
- 538 parques eólicos.- Potencia media 21,5 MW
- Potencia más frecuente de los últimos aerogenerados de 660 a 2.000 kW

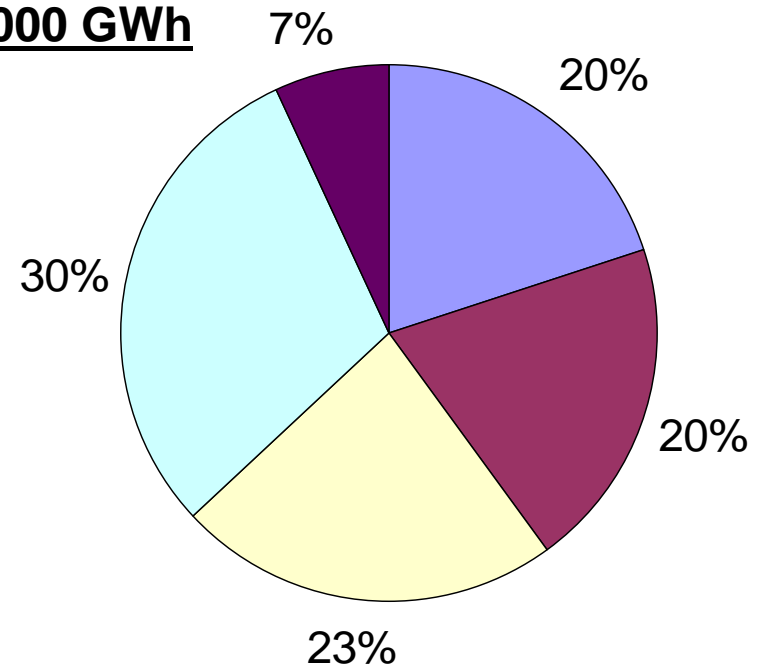


### Tipos de Instalaciones

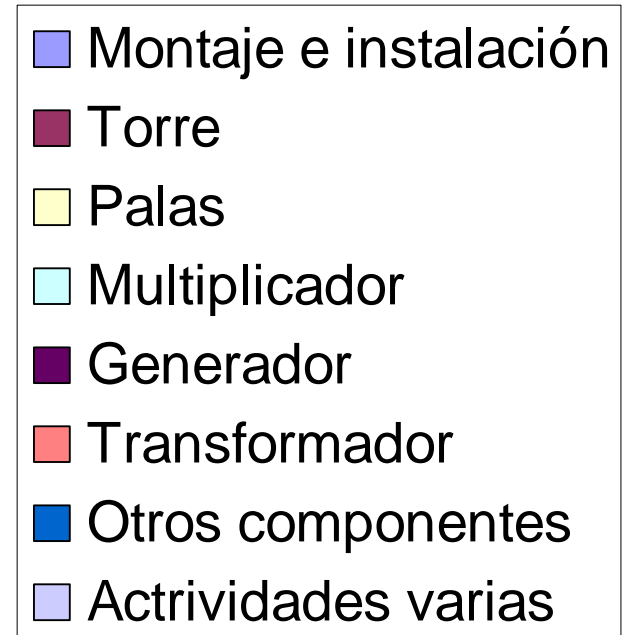
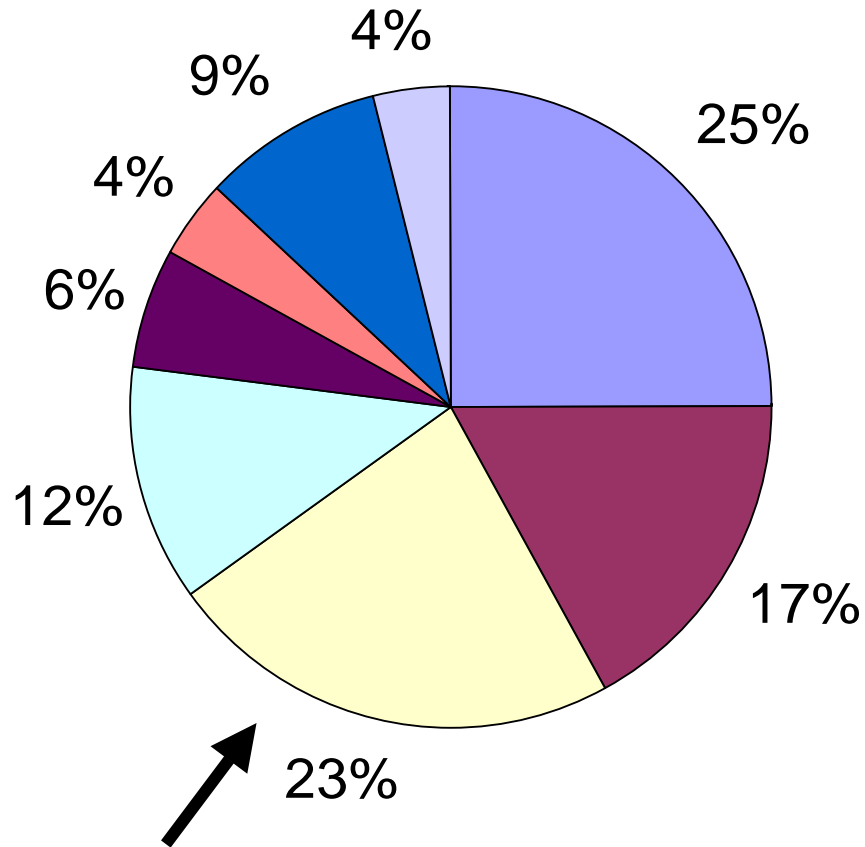
### Año 2006.- Generación bruta 302.000 GWh



### Fuentes Primarias



## Desglose de la inversión realizada



La fabricación de palas es intensiva en empleo

### Aerogeneradores:

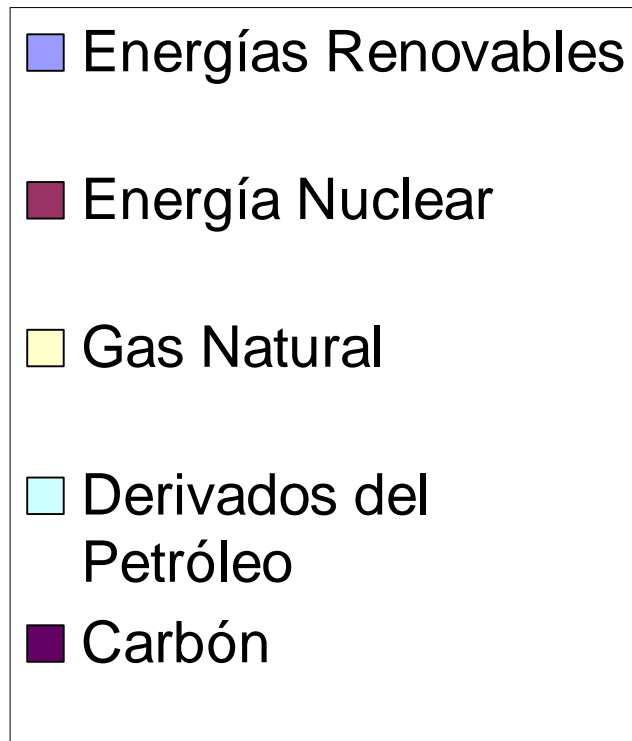
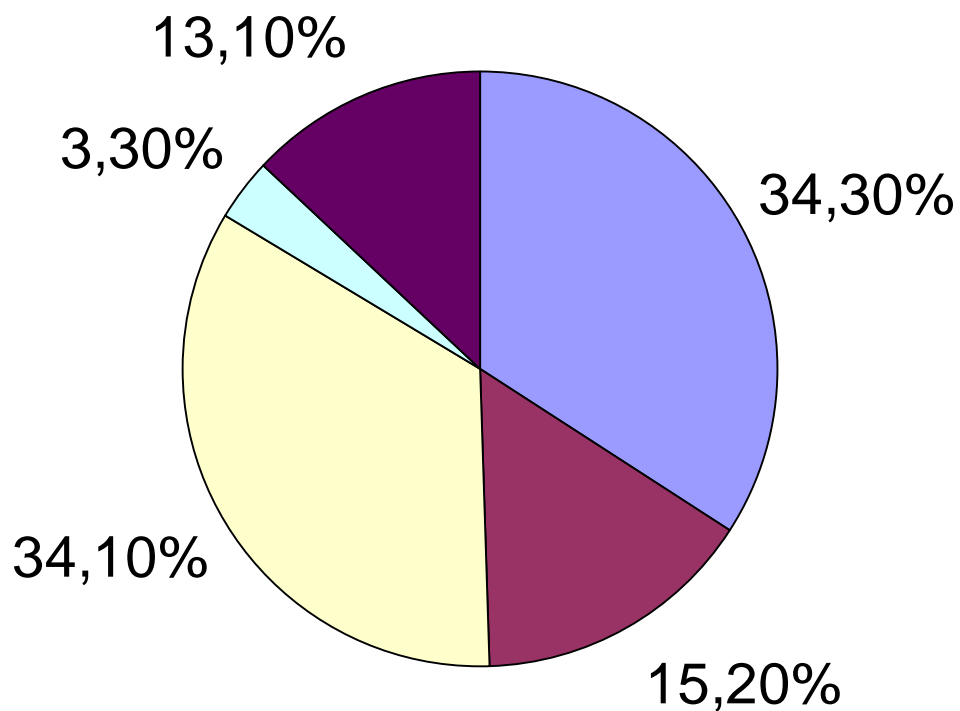
Inversión total ..... 0,6 millones de euros por MW instalado

Empleo asociado ..... 10 empleos año por MW instalado



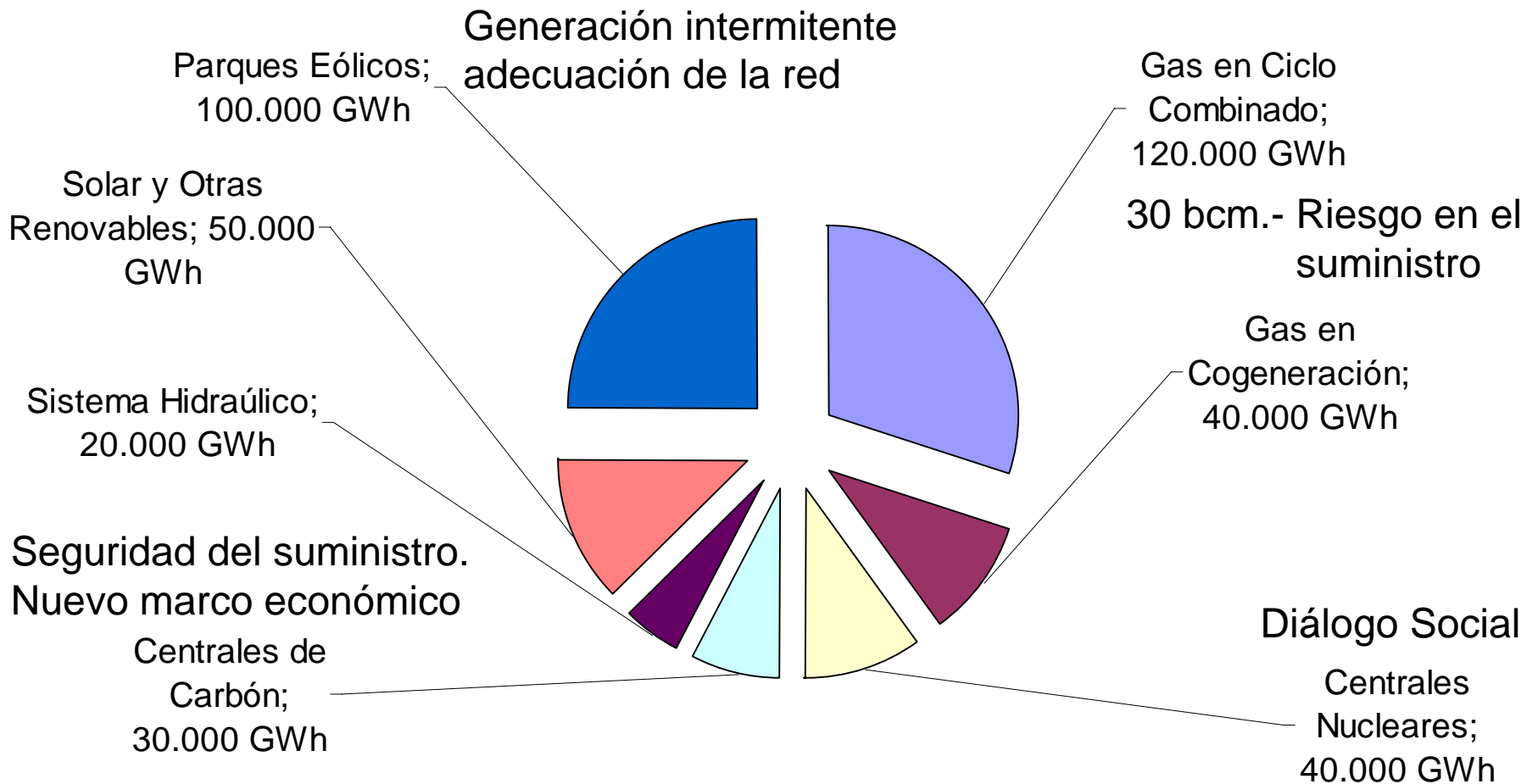
#### 4.- NECESIDADES FUTURAS EN ESPAÑA:

- La demanda de electricidad seguirá creciendo. Esperemos que a menor ritmo
  - + La generación bruta para el año 2016 ya se dibuja: 320.000 GWh
    - Se propone una alta penetración eólica: 50.000 GWh
- El esquema de generación al año 2030 admite diferentes opciones de dibujo
  - + Se incrementará el consumo eléctrico en transporte: electricidad ó H<sub>2</sub>
    - Sólo será una pequeña parte todavía
  - + La generación de origen renovables debiera llegar al 40%
  - + Aparecen interrogantes en relación a la seguridad de la red eléctrica
    - La generación con carbón como soporte de seguridad
    - Funcionando pocas horas equivalentes a plena carga



Año 2016:

- Demanda de Energía Primaria: 180 millones de tep
- Generación bruta de electricidad: 320.000 GWh



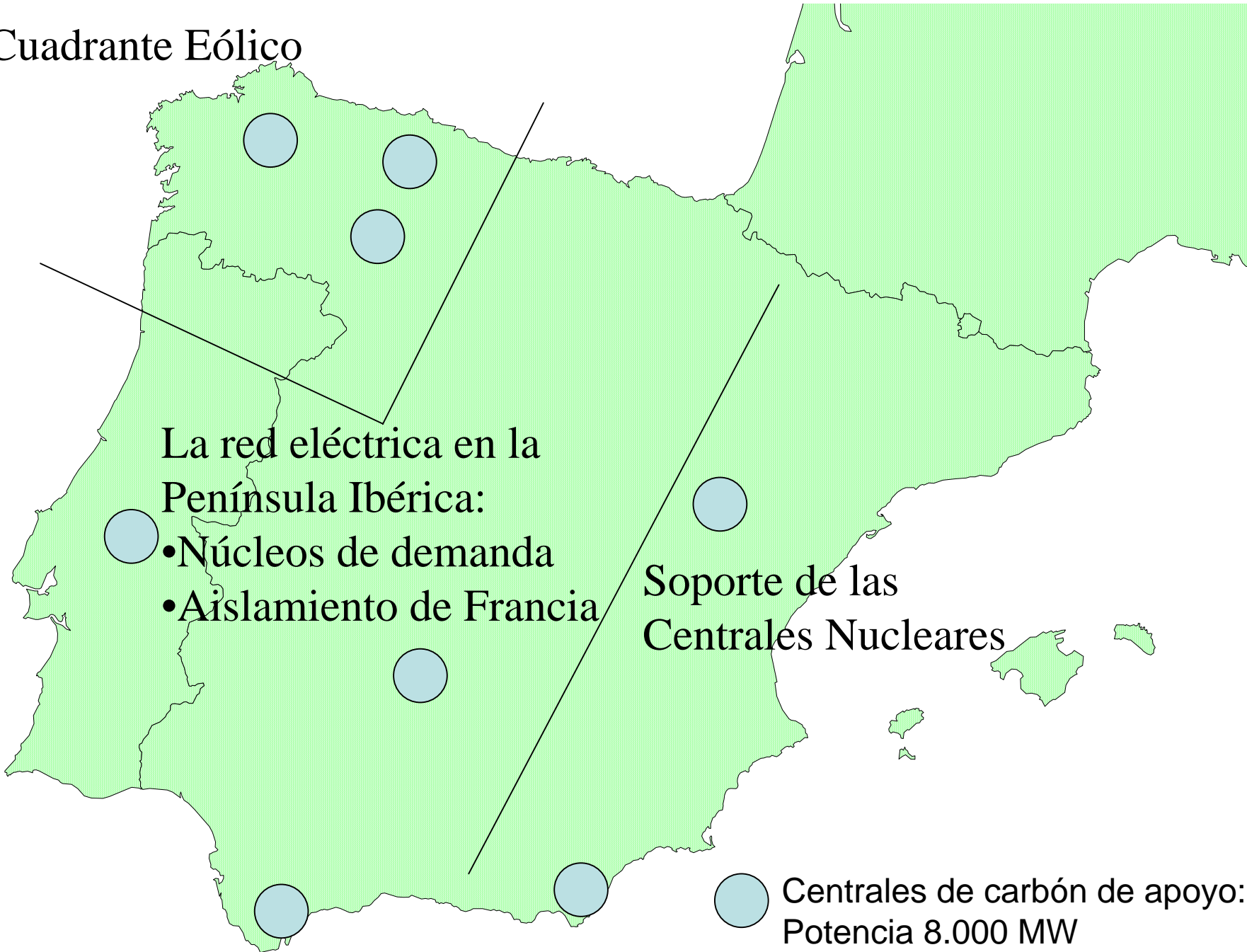
Expectativas al año 2030: Demanda de electricidad.- 400.000 GWh.

Potencia punta.- 65.000 MW.- Algunas fuentes de generación pueden no estar operativas en esa u otras demandas puntas.

Las centrales de carbón son la seguridad de suministro en cualquier condición.

Se precisarían al menos 8.000 MW.

# Cuadrante Eólico



## PROPUESTA DE UN GRAN DESARROLLO EÓLICO EN LA PENÍNSULA:

- Ahorro de gas natural en la generación de electricidad
  - + También energía para el transporte y la automoción
- Menores emisiones de CO<sub>2</sub>. Con los matices que haya que establecer
- Áreas geográficas favorables: recurso eólico, emplazamientos y red eléctrica
  - + Valoración de la disponibilidad de bombeo hidráulico
    - Es preciso incrementar significativamente la actual potencia
- Diálogo social con los ciudadanos de las Comunidades Autónomas
  - + Valoración de sus restricciones ambientales
  - + Esquemas de retorno económico a la ciudadanía
  - + Condicionar el esquema de primas a ese diálogo social

Área 1

20.000 MW

Área 4

10.000  
MW

Área 3

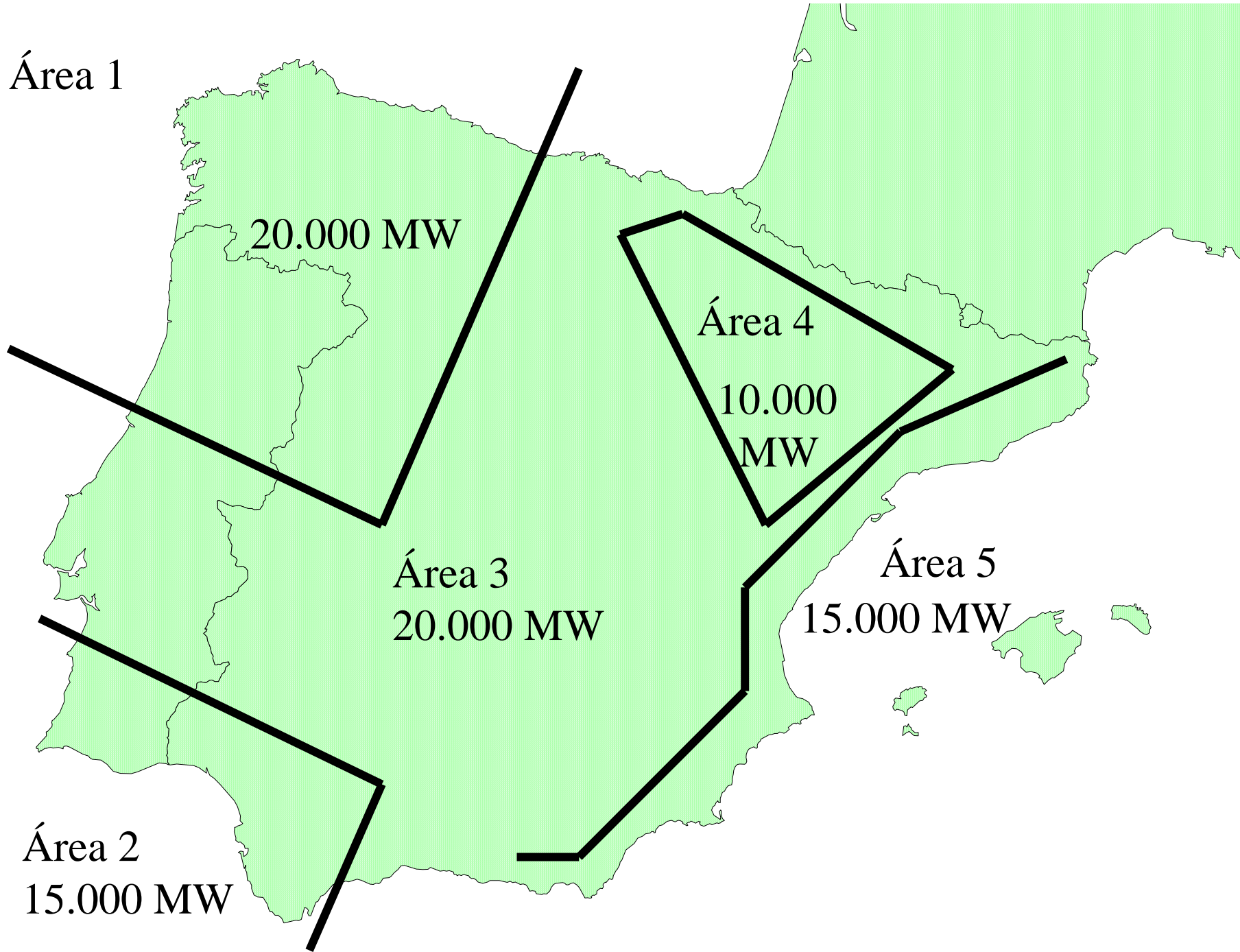
20.000 MW

Área 5

15.000 MW

Área 2

15.000 MW



# DESARROLLO EÓLICO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA:

- Área 1.- Consumo de electricidad en industria básica. Exporta electricidad. Viento de alta velocidad media. Soporte en la red con bombeo y centrales de carbón.
- Área 2.- Pasa a ser zona exportadora. Viento de alta velocidad media, en especial en el mar. Red eléctrica soportada con ciclos combinados.
- Área 3.- Viento de velocidad media. Amplias zonas llanas que permiten parques grandes. El soporte eléctrico se ha gestionar con el conjunto de la red peninsular.
- Área 4.- Viento de buena velocidad media. Zonas amplias para ubicar parques eólicos. Soporte de la red eléctrica con bombeo hidráulico y centrales de carbón.
- Área 5.- Fuerte demanda eléctrica y turismo. La eólica se ha de hacer visible para fomentar el ahorro, en particular en los parques marinos. Soporte con ciclos combinados.

## SUGERENCIAS EN EL DESARROLLO EÓLICO FUTURO EN ESPAÑA:

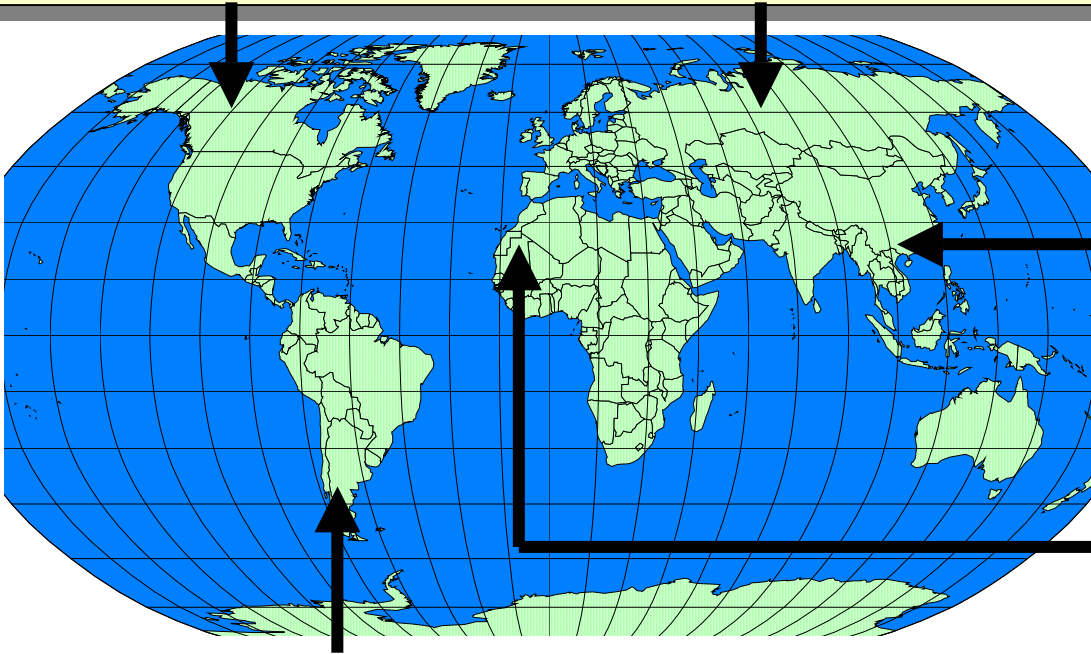
- Repotenciar parques eólicos existentes.- Pocos nuevos emplazamientos
  - + Facilitar un desarrollo industrial español
    - Aerogeneradores de elevada potencia y altas prestaciones
  - + Posibilitar la participación social. (Menor riesgo empresarial)
- Desarrollo de la eólica marina en acuerdo social amplio
  - + Plantas de demostración en futuros emplazamientos industriales
  - + “Ver los parques eólicos debe incitar al ahorro de electricidad”
- Análisis y planificación de la red eléctrica
  - + Estudio de los bombeos hidráulicos.- Diálogo social imprescindible
  - + Electricidad para carga de vehículos eléctricos versus hidrógeno

## 5.- PROPUESTAS DE GRANDES PROYECTOS EÓLICOS:

- La energía eólica debiera ser el 20% de la electricidad mundial en el año 2030
  - + Potencia instalada: 1.000.000 MW
- Una parte importante en países con baja capacidad financiera
  - + Necesidad de programas de transferencia de recursos financieros
- España tiene opciones de cooperación en varias áreas geográficas:
  - + Magreb.- Necesidad de colaboración en muchos temas sociales
    - Ahorro de gas y electricidad limpia para todos
    - Creación de empleo industrial en Marruecos y otros países
  - + América Latina.- Es posible instalar más de 300.000 MW
    - Electricidad, e hidrógeno para las redes de gas natural
    - Responsabilidad social de las empresas allí ubicadas

## Canadá y Rusia:

- Vientos de elevada velocidad media, en terrenos llanos de fácil acceso.
- Posibilidad de sistemas híbridos eólicos-hidráulicos.



## China, India y Otros:

- Potencial alto en algunas zonas desérticas, El Gobi, por ejemplo y en los valles de los grandes ríos.

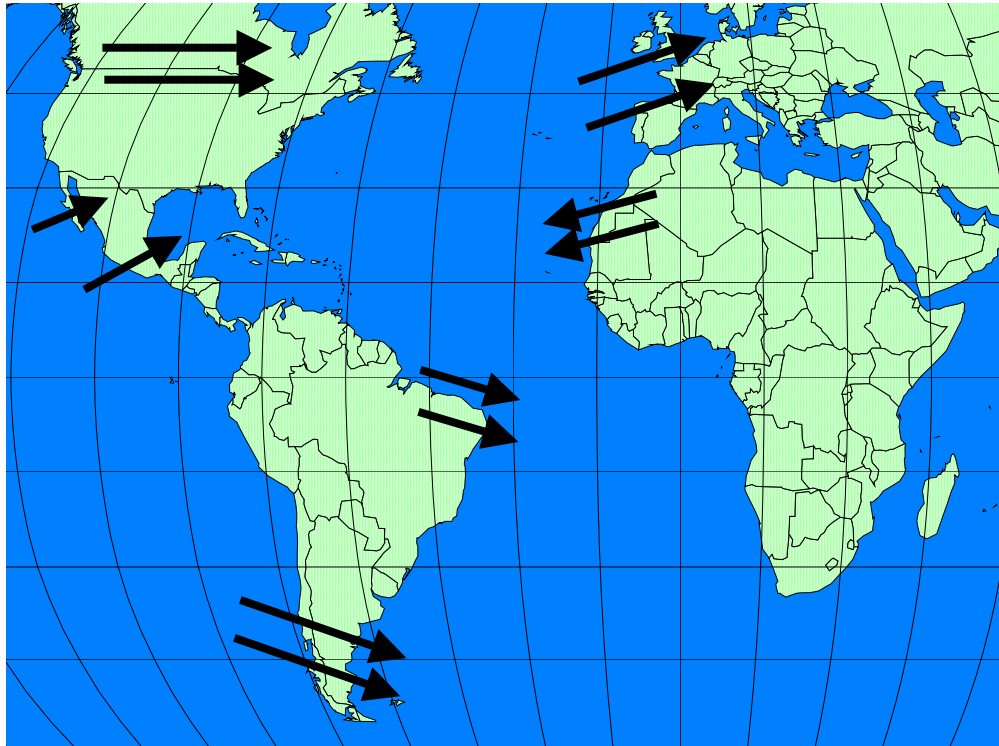
## África

- En el Magreb, en su costa atlántica sobre todo.
- Ciertas zonas del Índico, y algunas otras.

## América Latina:

- Potencial elevado en La Patagonia, también en el Noreste de Brasil y en México.

- Potencial global: 200.000 TWh/año.
- Consumo actual de electricidad en el mundo: 15.000 TWh/año



•Aquí se reflejan algunas áreas de buenos recursos eólicos de una parte del mundo.

•Hay otras varias, y además es preciso tener en cuenta los efectos climáticos regionales o locales para valorar otros campos eólicos.

•Se estima que utilizando el potencial eólico mundial es posible generar 200.000 TWh/a.

•Esto podría atender la actual demanda de electricidad, 16.000 TWh, su incremento futuro, y producir el hidrógeno necesario para el uso actual de automoción, o alimentar los vehículos de tracción eléctrica.



- España e Italia está muy cerca de África y deben ser los líderes de esta visión del Mediterráneo.
- Toda Europa Occidental también. Francia debiera ser un país clave en proyectos de este tipo.

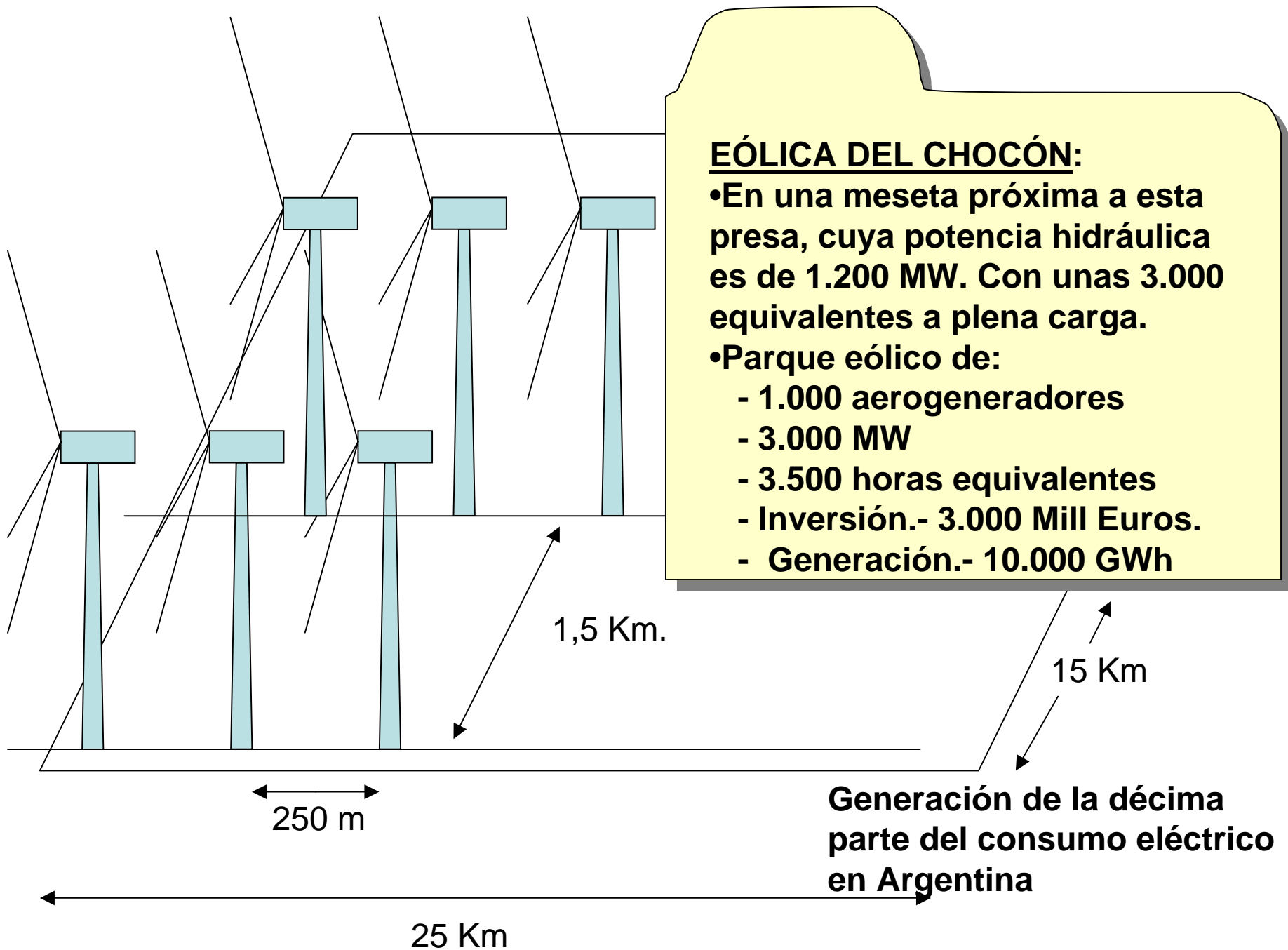
- Reducir la presión de demanda de petróleo y gas natural en el Oriente Medio desde la Europa Occidental.
- Facilitar la llegada de petróleo y eventualmente gas natural hacia otros países.
- Extender este esquema para la cooperación a Oriente Medio.

1.- Potencia eólica en el Magreb: 100.000 MW

2.- Generación eléctrica con gas natural

3.- Extracción moderada de petróleo y gas

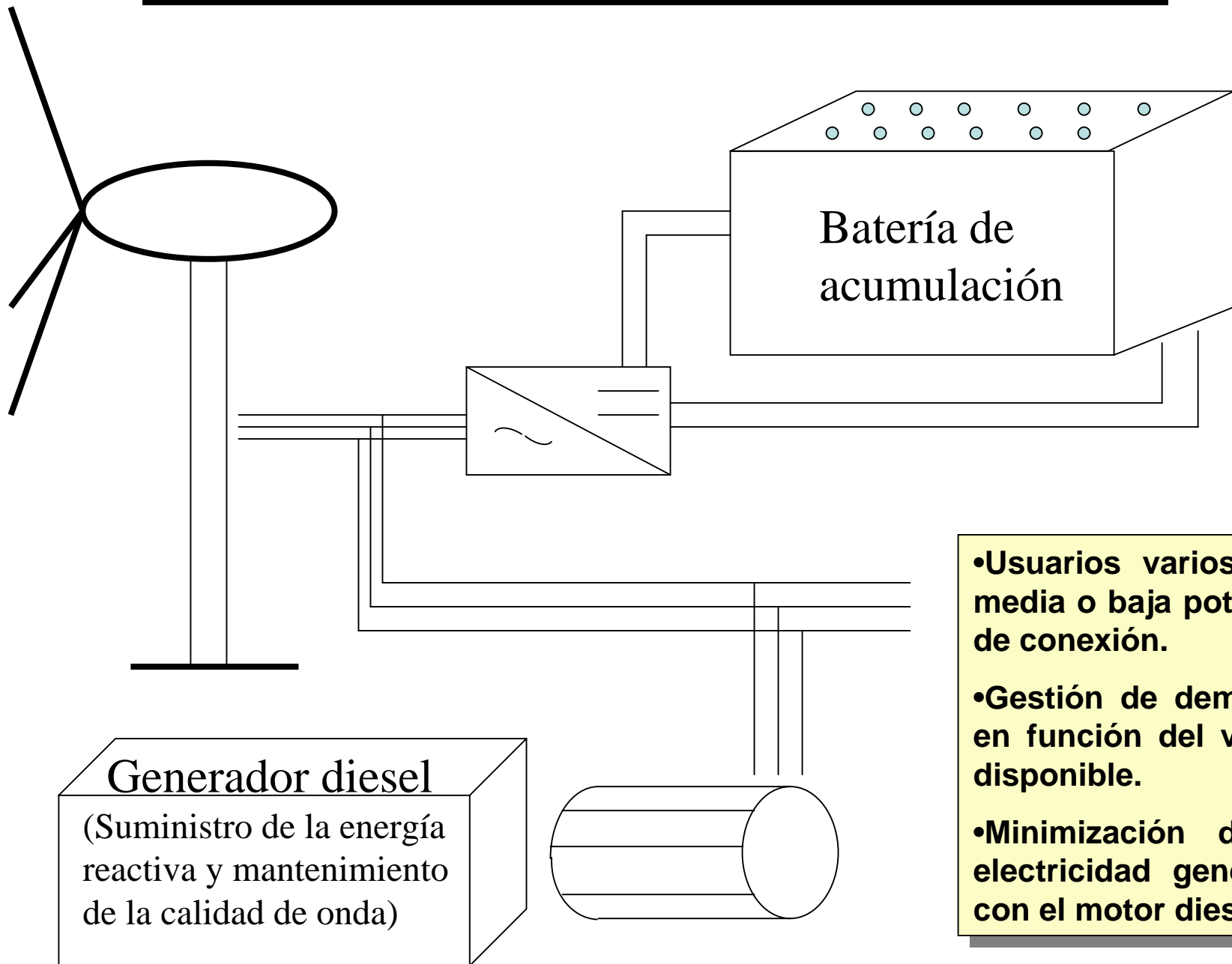
4.- Cooperación tecnológica, industrial y financiera con el Sur del Mediterráneo



## 6.- EL DESARROLLO DE LA EÓLICA EN GENERACIÓN DISTRIBUIDA:

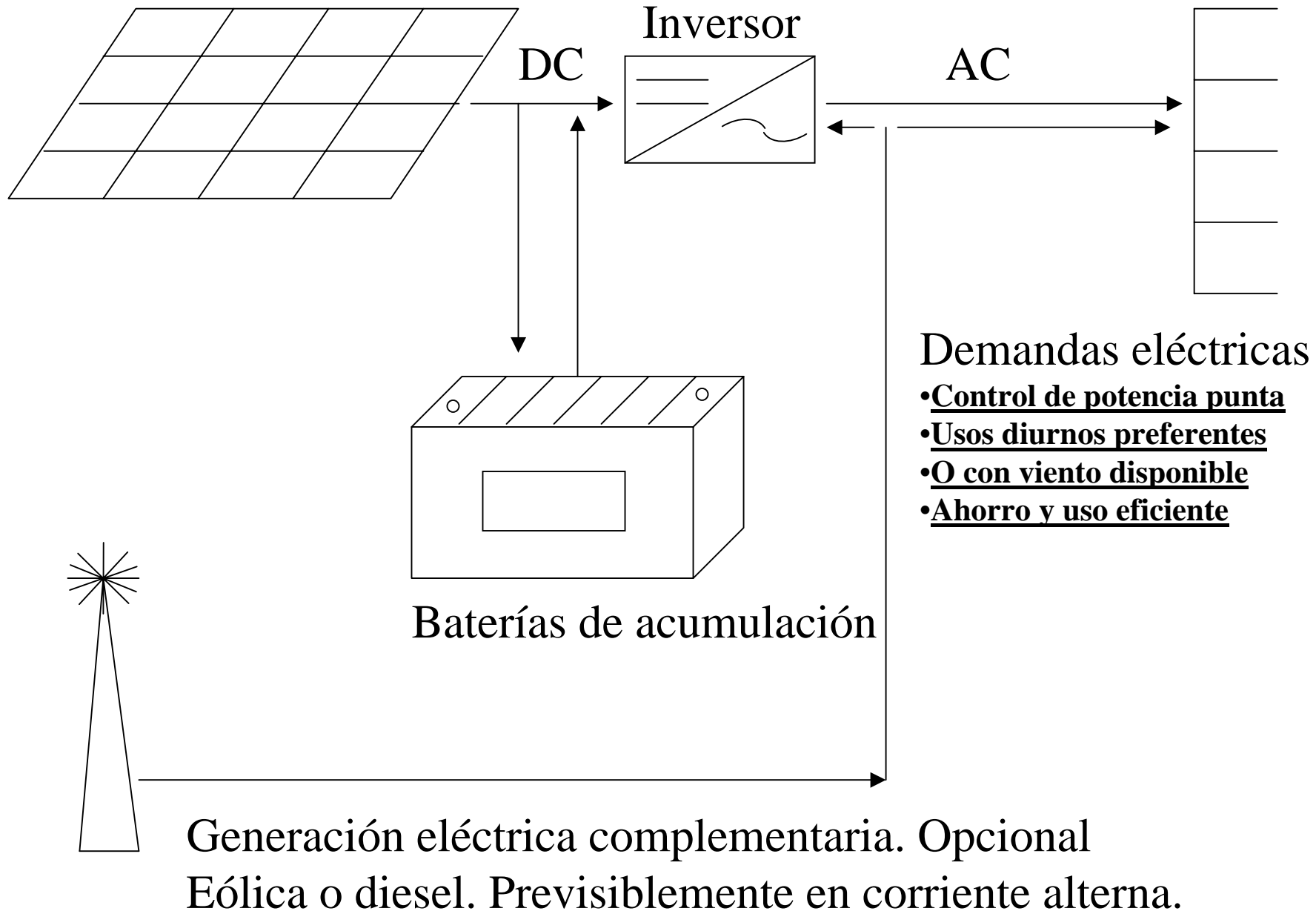
- Es una de las opciones de suministro eléctrico renovable de bajo coste
  - + Una posibilidad de conexión a la red eléctrica económica
    - Hoteles, áreas de esparcimiento, etc.
- Puede ser la gran solución para electrificación en países en vías de desarrollo
  - + Diferentes soluciones técnicas. Necesitan acumulación de energía
    - Más cara si incluye fotovoltaica
  - + Electricidad para usos muy diversos sociales e industriales
    - P.E.- Conservación del pescado en pequeñas aldeas
- En cualquier caso muchos pueblos precisan de ayuda para su desarrollo
  - + Necesidad de concienciación desde el Norte

# ESQUEMA DE DISEÑO DE EÓLICA AISLADA



- Usuarios varios con media o baja potencia de conexión.
- Gestión de demanda en función del viento disponible.
- Minimización de la electricidad generada con el motor diesel.

# Placas fotovoltaicas



Gracias por su atención y a su disposición  
para el diálogo

[emilio.menendez@uam.es](mailto:emilio.menendez@uam.es)