

# Contexto energético y marco regulador

Máster en energías renovables y mercado energético

Año de realización: 2011-2012

**PROFESOR**  
José M<sup>a</sup> Paz

# Índice

1. Suministro y consumo de energía
2. Refino de petróleo.- Biocombustibles Líquidos
3. La cadena del gas natural. España “Isla Energética”
4. Generación, transporte y distribución de electricidad
5. Electricidad a partir de energías renovables
6. El cambio climático, cuestión crítica hacia el futuro
7. La energía es un factor crítico hacia futuro

---

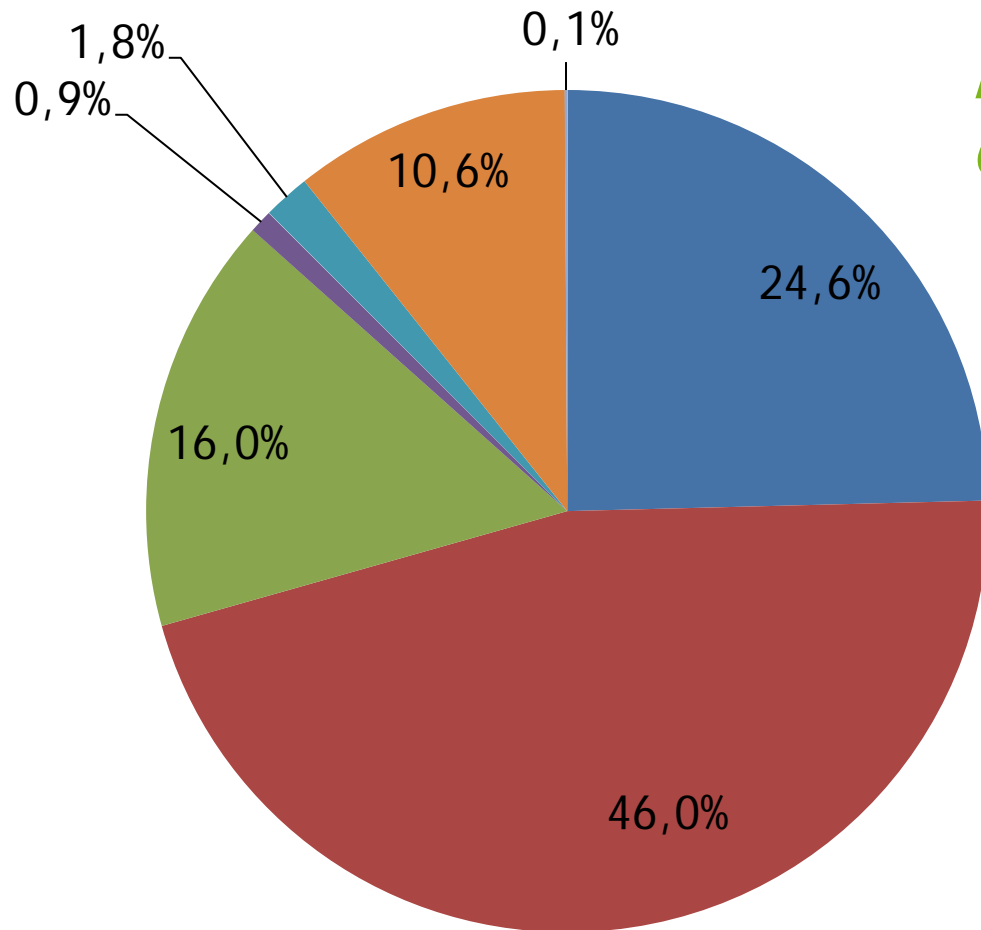
# Capítulo 1

## Suministro y consumo de energía

# Suministro de energía primaria

- La participación de los combustibles fósiles en el total del abastecimiento de energía primaria tiende a decrecer, fundamentalmente debido al petróleo.
- A nivel mundial los suministros de petróleo y gas natural presentan incertidumbres.
- Puede haber reducciones de oferta por razones técnicas o políticas.
- Las energías primarias en las que se puede pensar de cara al futuro presentan problemas:
  - Carbón, que emitirá mas CO<sub>2</sub>
  - Energías Renovables, en la actualidad poco económicas
  - Energía Nuclear, con problemas de aceptación social

# Suministro de energía primaria



Año 1973  
6.111 Mtep

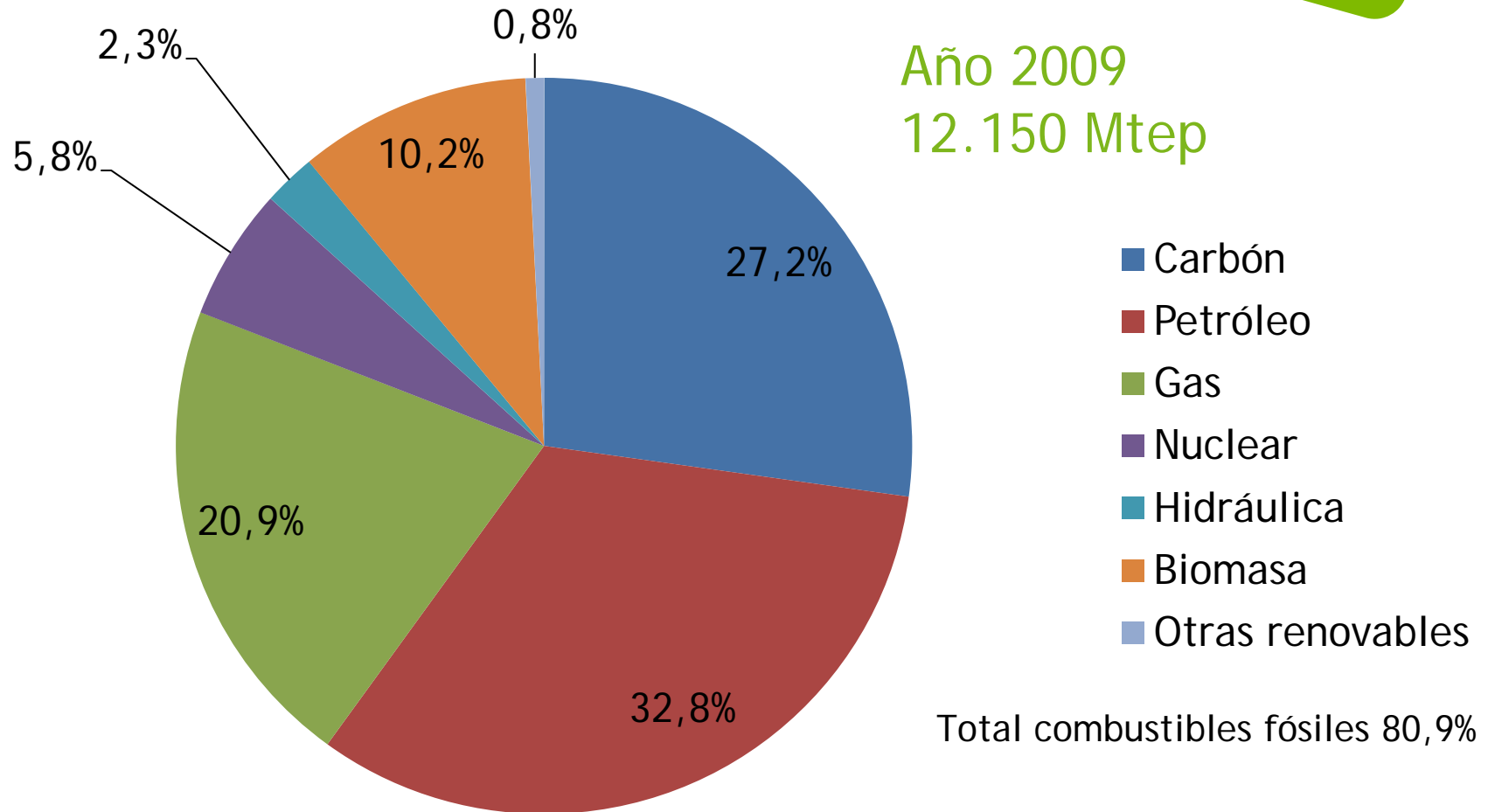
- Carbón
- Petróleo
- Gas
- Nuclear
- Hidráulica
- Biomasa
- Otras renovables

Total combustibles fósiles 86,6%

Fuente: Agencia Internacional de la Energía

# Suministro de energía primaria

Año 2009  
12.150 Mtep



Fuente: Agencia Internacional de la Energía

# ENERGÍA PRIMARIA 130,5 Millones de tep

## España año 2009

# CONSUMO FINAL DE ENERGÍA

97,7 Millones de tep

Combustibles Fósiles: 80,5%

Petróleo 48,8%

Gas Natural 23,8%

Carbón 7,9%

Energías Renovables  
9,4%

Energía Nuclear 10,5%

Pérdidas y  
Materias primas

Refinerías de  
Petróleo

Sistema eléctrico:  
• Generación  
• Transporte  
• Distribución

Pérdidas

### **TRANSFORMACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA**

Carburantes: 38%

Combustibles: 40,5%

Electricidad: 21,5%

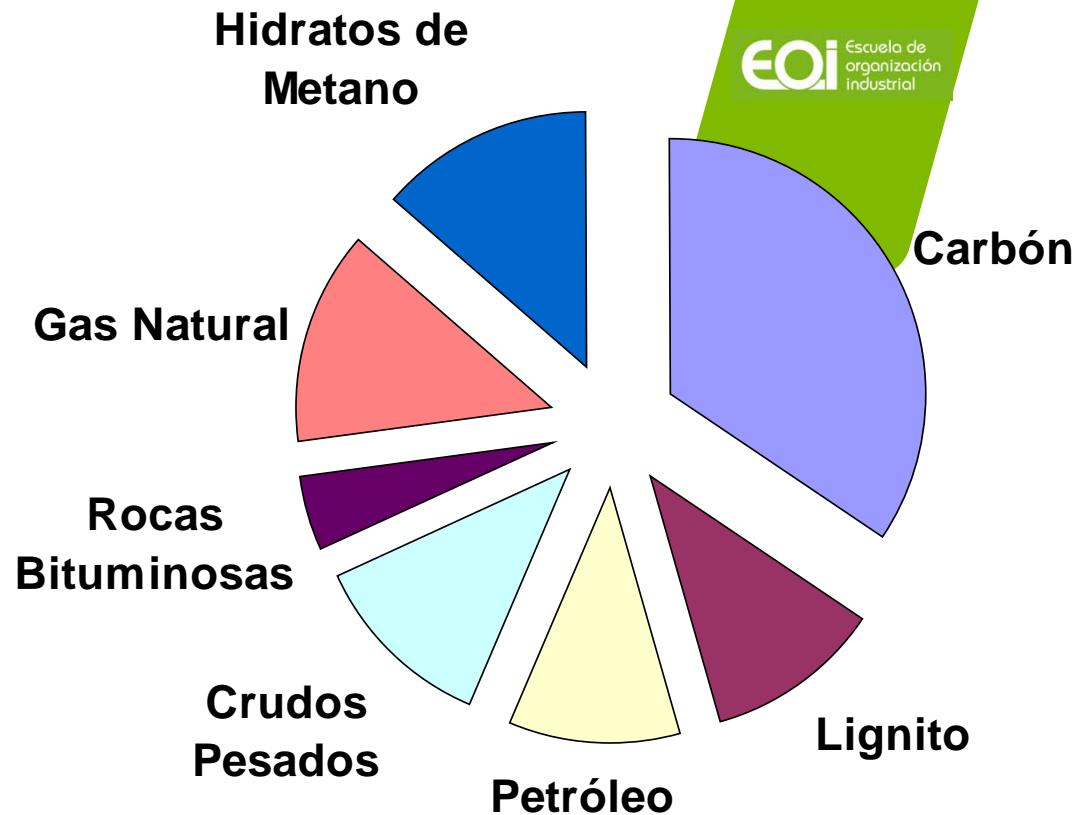
# EL PETRÓLEO ES CRÍTICO EN EL SISTEMA ENERGÉTICO:

- En conjunto las reservas de combustibles fósiles son amplias
  - El carbón es el mayoritario. ¿Vuelta al carbón?
- Las de petróleo, tipo ligero y medio, son pequeñas
  - Ya se extraen crudos pesados
- El petróleo y el gas natural se localizan en Oriente Medio
  - +1/2 de las reservas de crudo; +1/3 de las de gas natural
- Se asume que estamos próximos al “Pico del Petróleo”
  - La evolución se relacionará con su precio



## RESERVAS Y RECURSOS:

- **Petróleo.-** Más de la mitad de ellas se localizan en Oriente Medio.
- **Gas natural.-** Un tercio del total en Oriente Medio, otro tercio en Rusia y países de Asia Central.
- **Carbón.-** Mas repartido en todos los continentes.



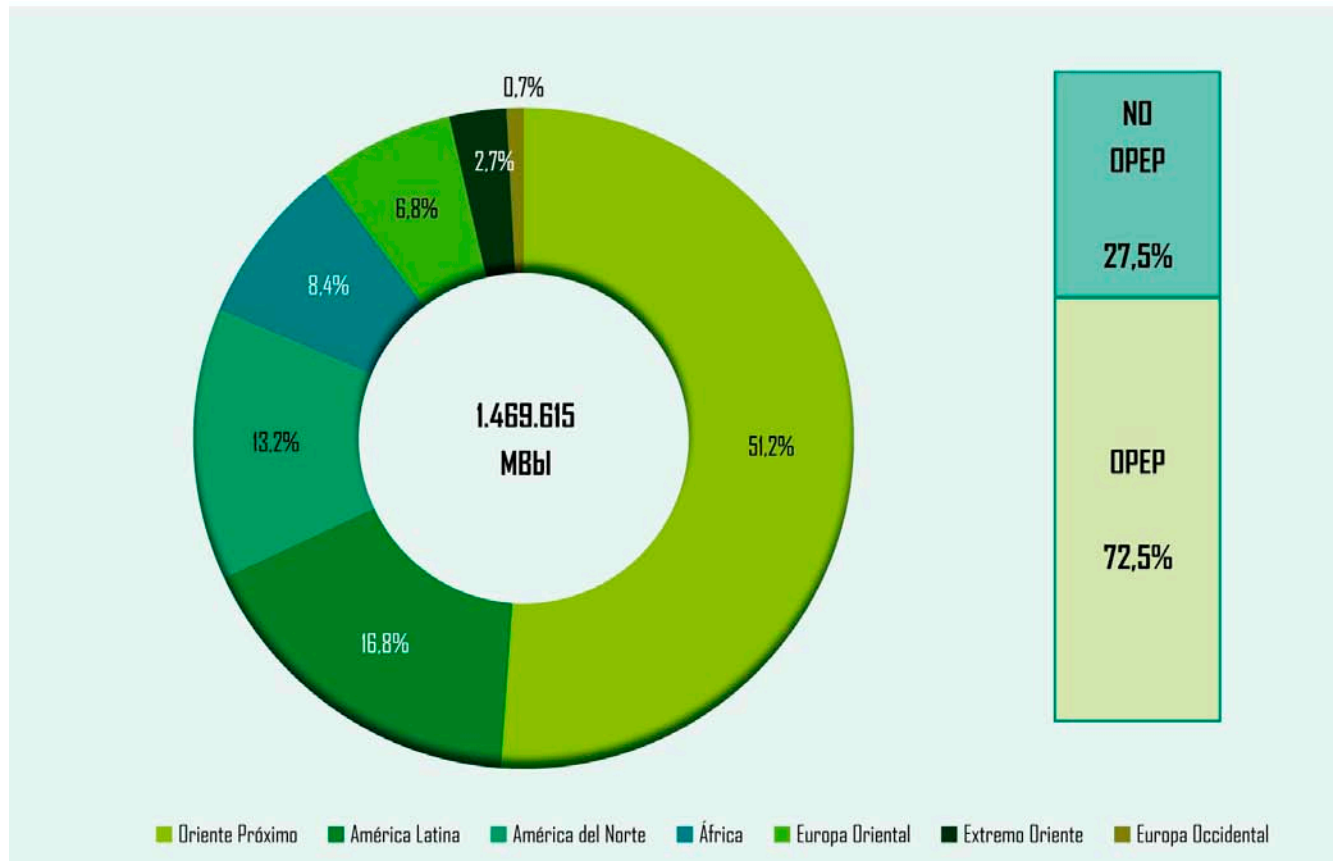
- Las reservas totales se estiman en algo más de 1.000.000 de millones de tep.
- Los recursos globales pudieran ser del orden de 3.000.000 millones de tep.

Fuente: Elaborado a partir de datos de IEA, BP y otros

# Reservas de Petróleo

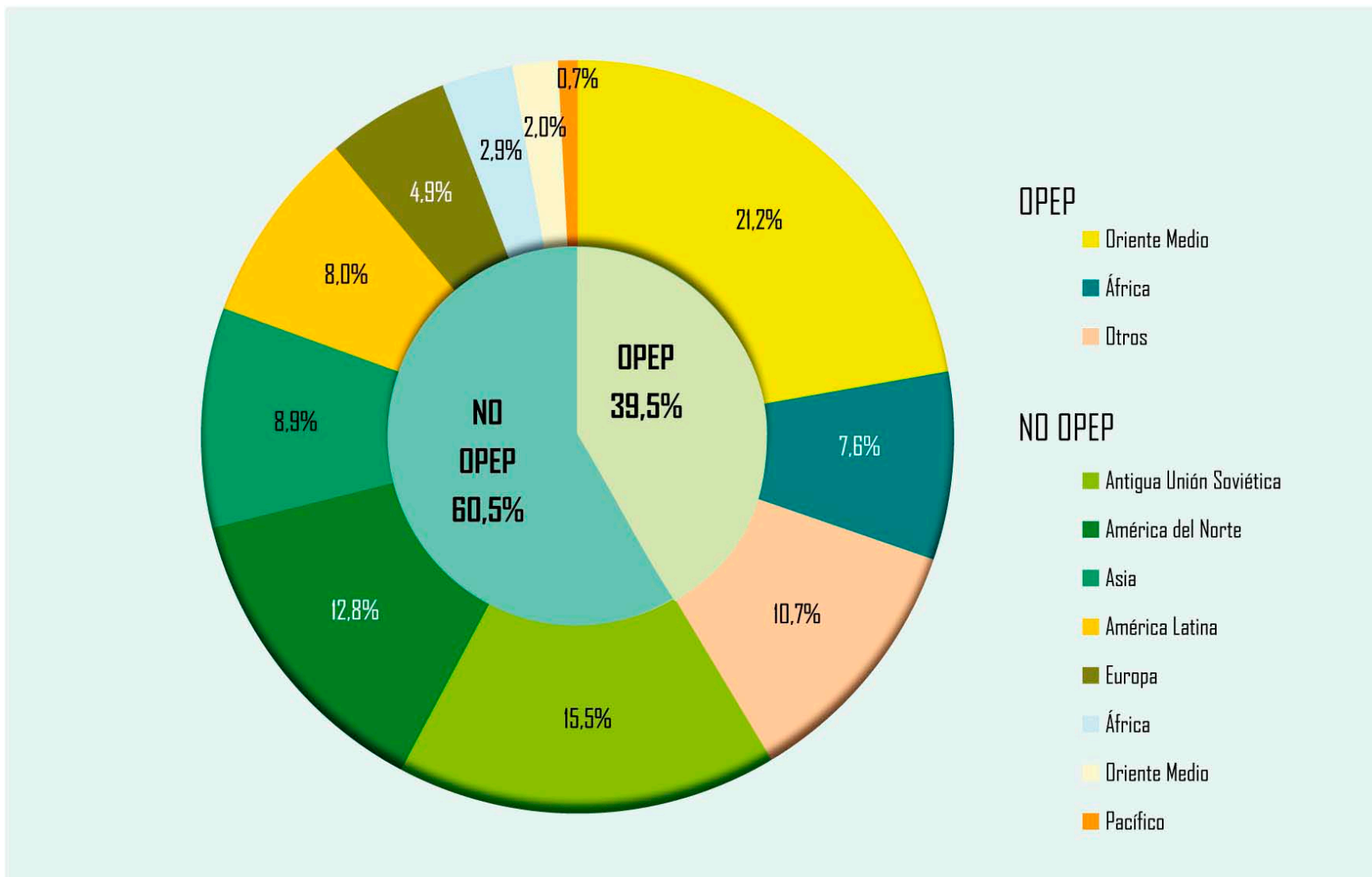
- A finales de 2010, las reservas mundiales probadas de petróleo ascendían a 1,47 billones de barriles

## Reservas mundiales de petróleo por áreas a 1 de enero de 2011 (%)



Fuente: Resumen CORES 2010

# Distribución de la producción por áreas en 2010 (%)



PRODUCCIÓN TOTAL MUNDIAL 87,40 millones de barriles/día = 31,9 miles de millones de barriles/año

Fuente: Resumen CORES 2010



# Extracción de petróleo

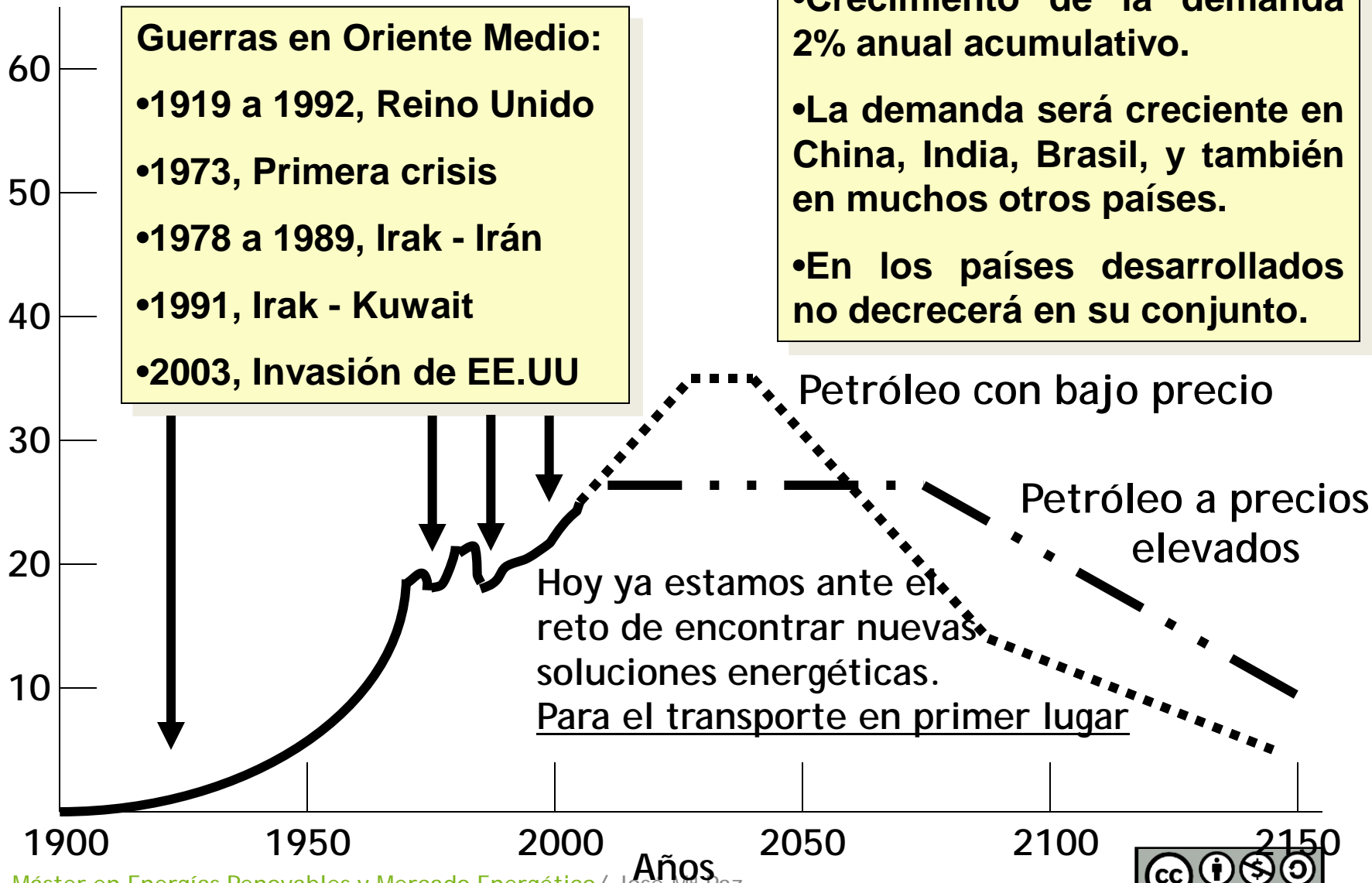
Miles de millones bbl/año

## HIPÓTESIS:

- Crecimiento de la demanda 2% anual acumulativo.
- La demanda será creciente en China, India, Brasil, y también en muchos otros países.
- En los países desarrollados no decrecerá en su conjunto.

### Guerras en Oriente Medio:

- 1919 a 1992, Reino Unido
- 1973, Primera crisis
- 1978 a 1989, Irak - Irán
- 1991, Irak - Kuwait
- 2003, Invasión de EE.UU

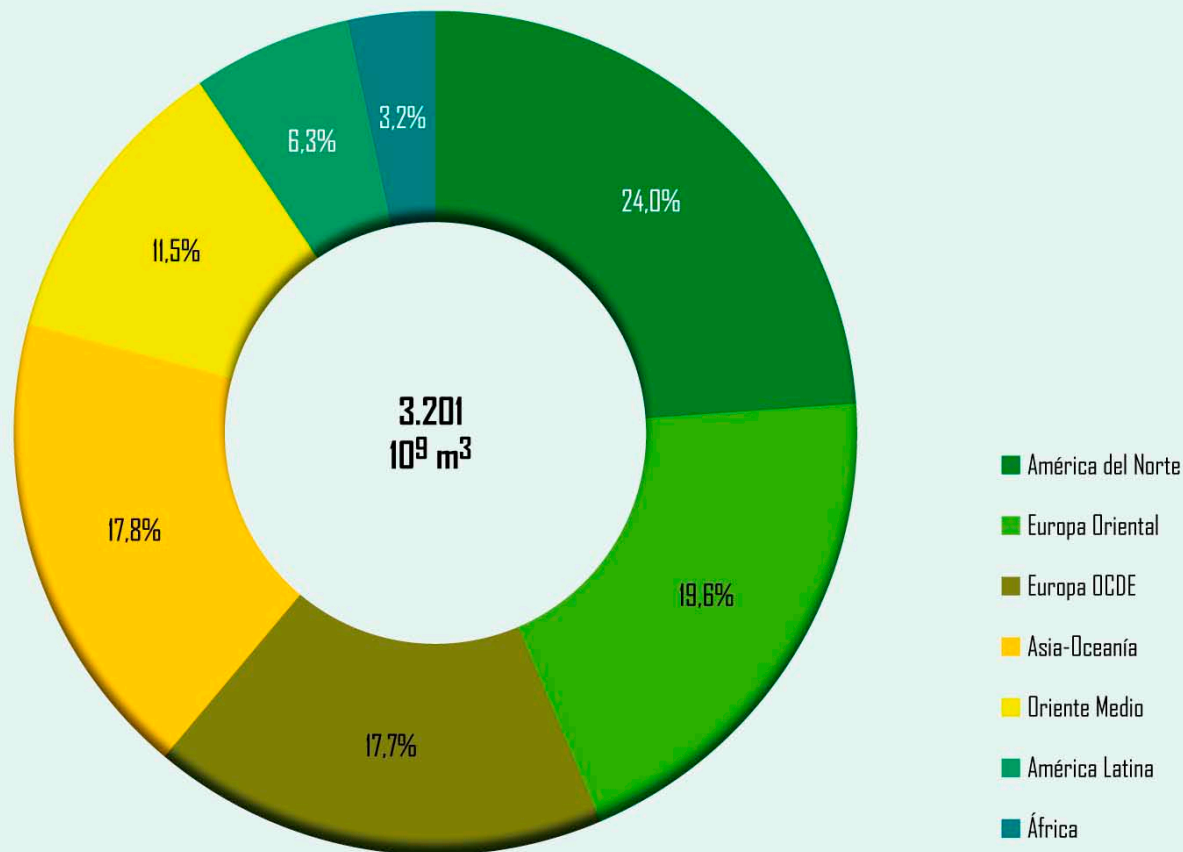


# LA EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS DEL PETRÓLEO ES UN FENÓMENO EXPECULATIVO:

- Coste de extracción entre 3 y 30 \$/bbl según yacimientos
  - 3\$ en Oriente Medio, 10\$ en Golfo de México, 30\$ en el Mar del Norte y hasta 60\$ en arenas bituminosas.
- A mayor precio del crudo menor consumo de energía
  - También menor crecimiento de la economía mundial
- Los precios altos alargarían la vida del petróleo
  - ¿Se pretende esto por falta de alternativas energéticas?

# GAS NATURAL

## Distribución de la demanda por áreas en 2010 (%)

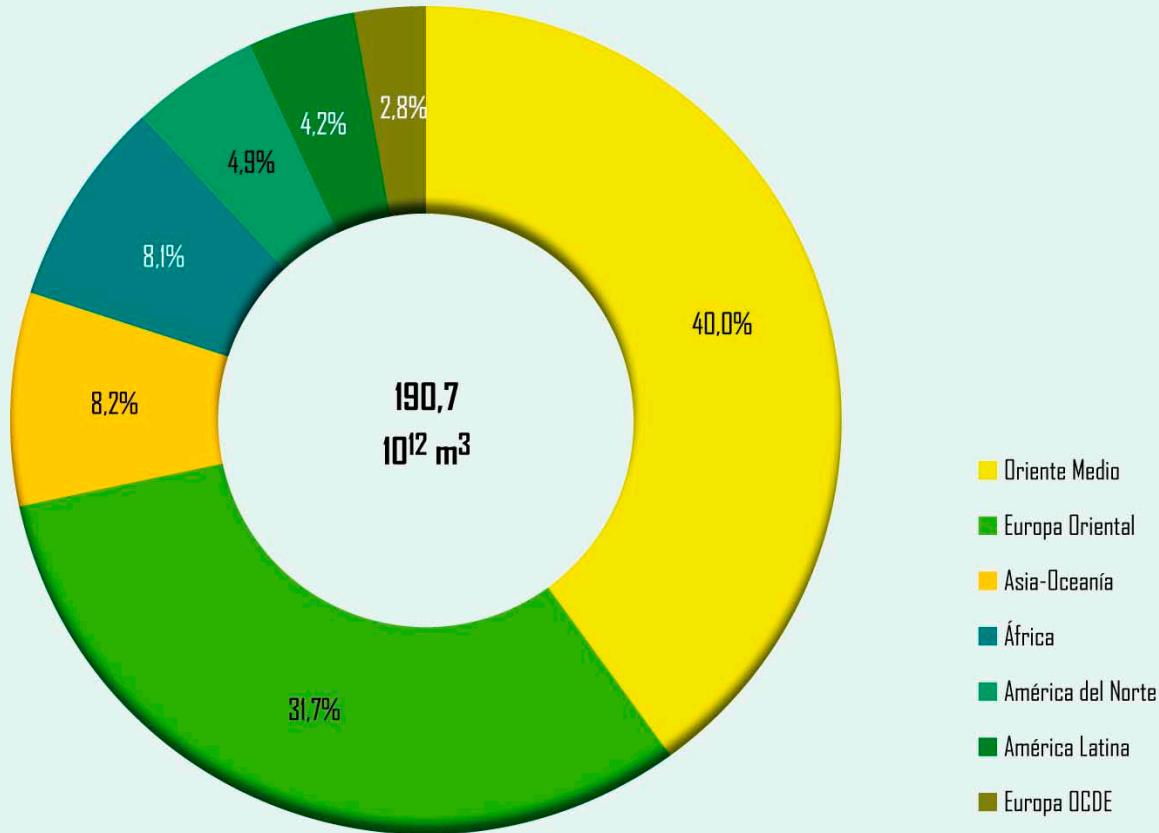


Demanda mundial en 2010:  
3.201x10<sup>9</sup>m<sup>3</sup>

Fuente: Resumen CORES 2010

# GAS NATURAL

## Reservas mundiales de gas natural por áreas a 1 de enero de 2011 (%)



Reservas mundiales en 2011:  
 $190,7 \times 10^{12} \text{ m}^3$

Fuente: Resumen CORES 2010

## **CONSUMO MUNDIAL DE COMBUSTIBLES FÓSILES. Año 2010:**

**I.- Petróleo.- 4.028 millones de tep.**

***España.- 74,5 millones de tep.***

**II.- Carbón.- 3.556 millones de tep.**

***España.- 8,3 millones de tep.***

**III.- Gas natural.- 2.858 millones tep.**

***España.- 31,0 millones de tep.***

**Nota.- España representa aproximadamente el 1,1% del consumo de combustibles fósiles en el mundo.**

Fuente.- BP Statistical Review 2011



# CONSUMO FINAL.- INDUSTRIA Y TRANSPORTE:

- Utilizamos la energía en varios vectores de uso final
  - Electricidad crece más rápidamente que los otros
- La industria fue el consumidor mayoritario en el pasado
  - Sigue siendo la primera respecto a la electricidad
- La industria pesada supone 2/3 del consumo energético industrial
  - Cemento y Siderurgia hacia la construcción y otros
    - Puede reducirse su demanda a medio plazo
- El transporte y la movilidad hoy ya son el primer consumidor

## APORTE DE CALOR:

- De la leña al gas natural
  - + Doméstico
  - + Servicios
  - + Industria
- El 60% del consumo final
  - + España 40%

## MOVILIDAD Y TRANSPORTE:

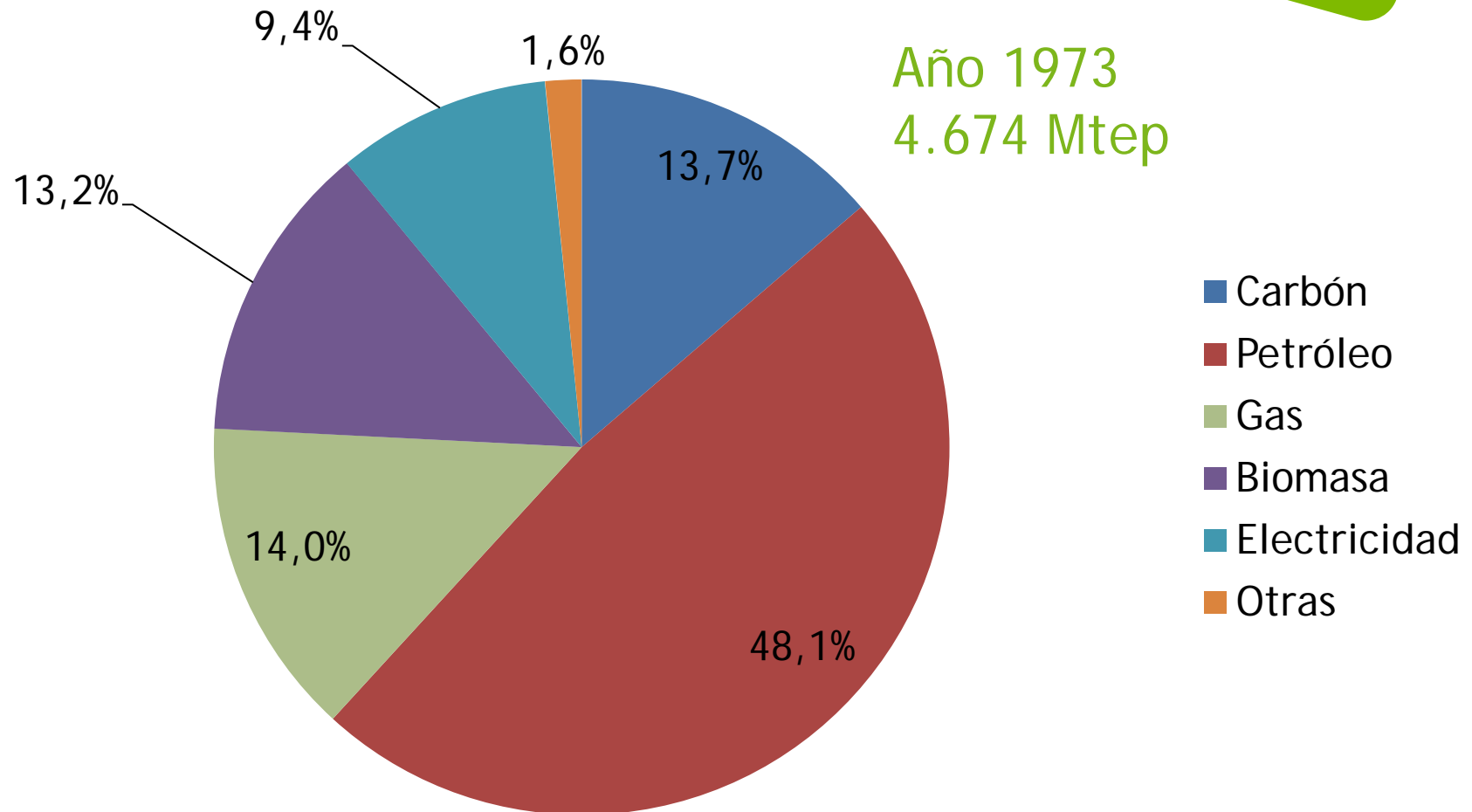
- De la mula al automóvil y el avión
- Hoy dependemos del petróleo
- El 20% del consumo mundial
  - + En España el 40%



## ELECTRICIDAD:

- Se extiende en el siglo XX. Supone el 20% del consumo final de energía
- Elevada inversión. El 2% del Producto Económico Mundial

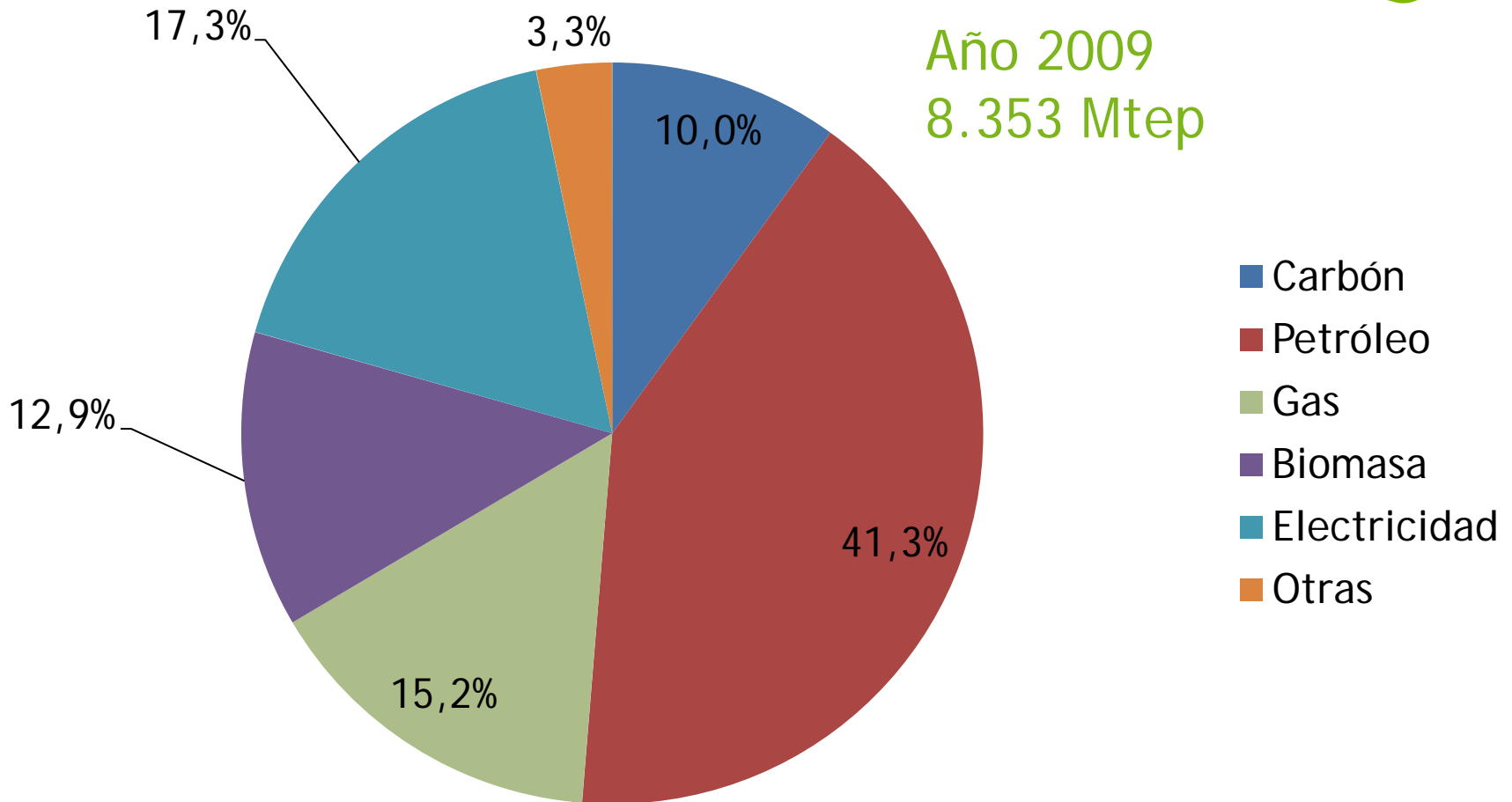
# CONSUMO FINAL DE ENERGÍA



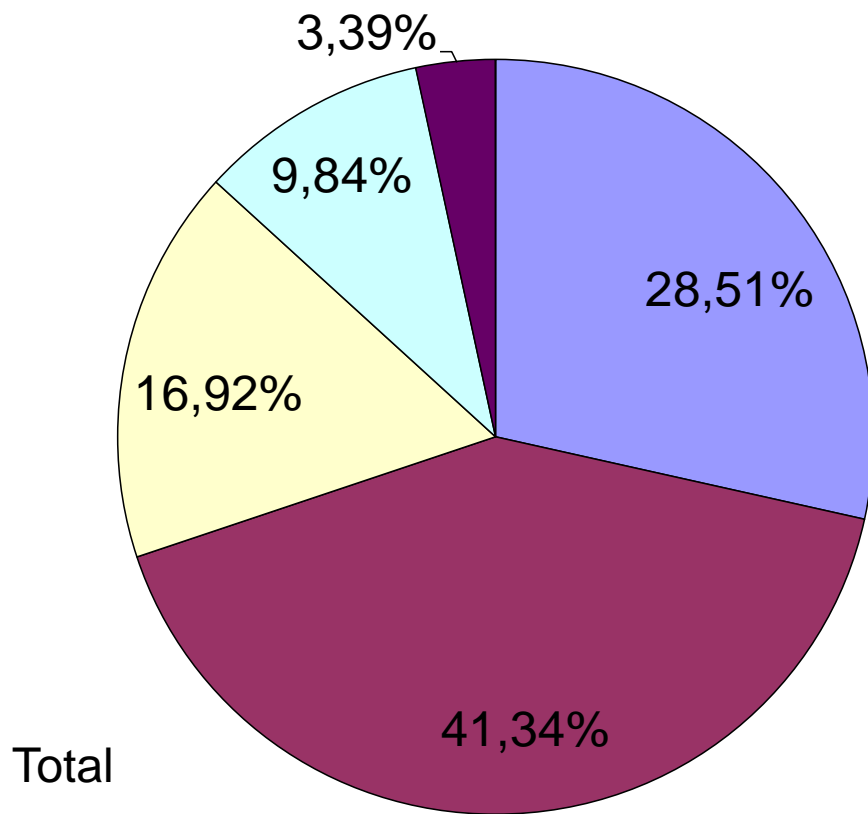
Fuente: Agencia Internacional de la Energía

# CONSUMO FINAL DE ENERGÍA

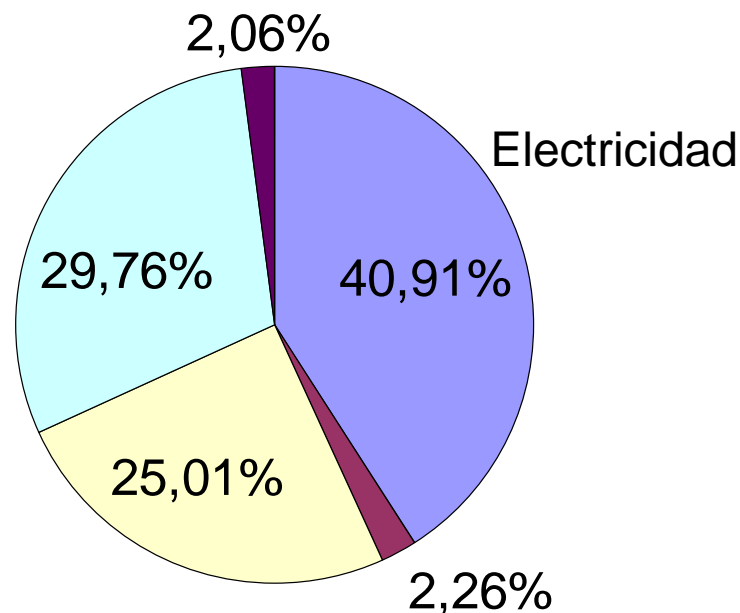
Año 2009  
8.353 Mtep



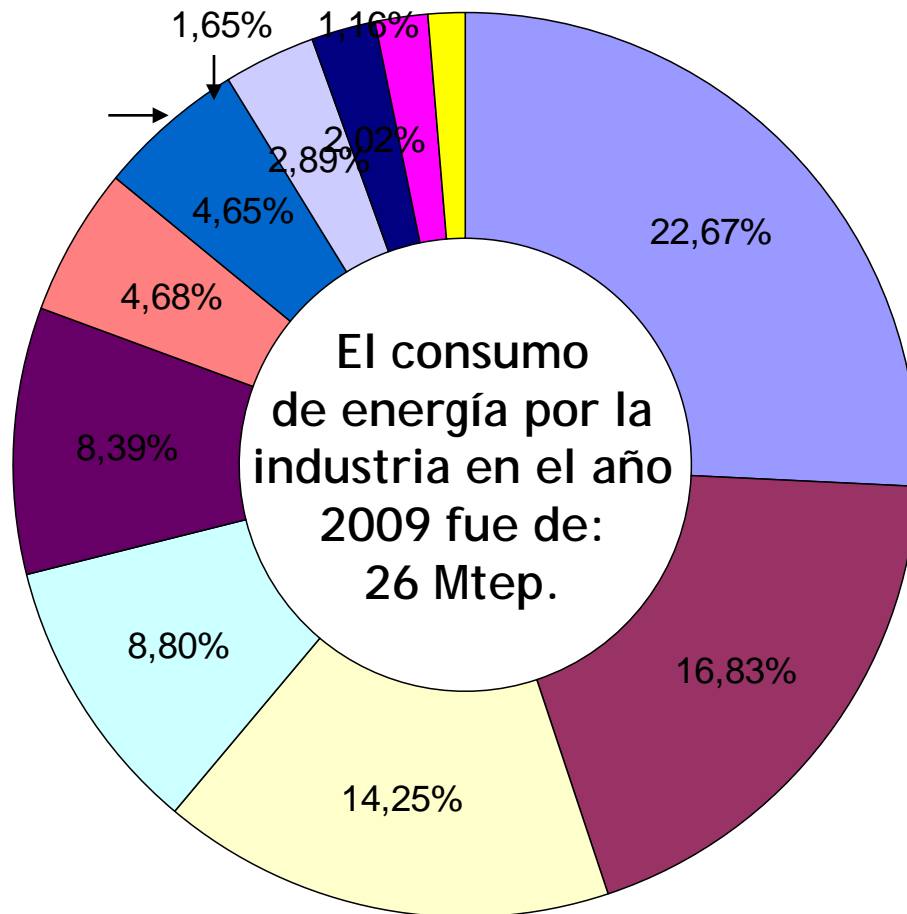
Fuente: Agencia Internacional de la Energía



**Consumo final en España Año 2009:**  
**C. F. E.: 91,3 millones de tep.**  
**(excluidos usos no energéticos)**  
**La electricidad fue el 23%**



Fuente.- Elaboración con datos de IDAE

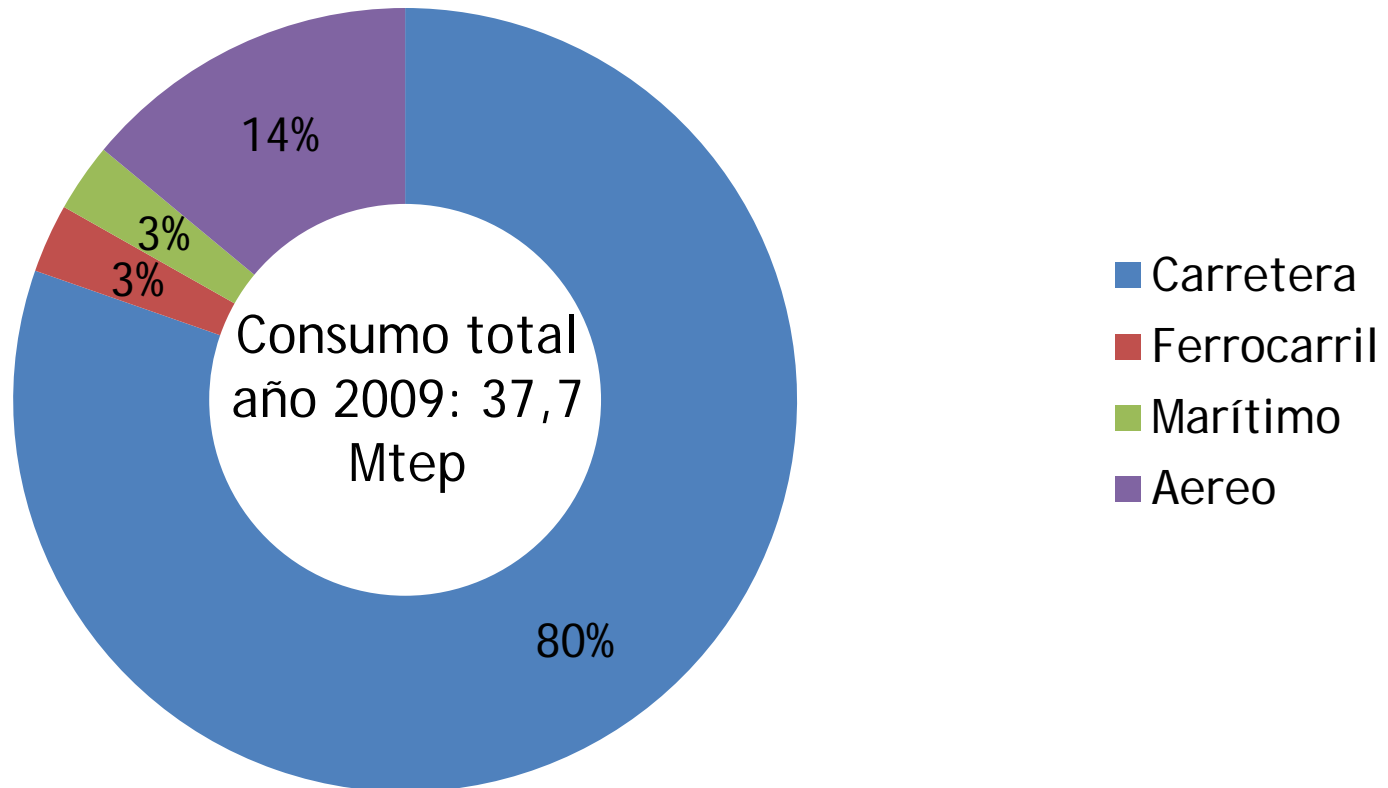


- Minerales no metálicos
- Industria química
- Siderurgia y fundición
- Pasta, papel e impresión
- Alimentación, bebidas y tabaco
- Transformados metálicos
- Metalurgia no ferrea
- Equipos de transporte
- Textil, cuero y calzado
- Construcción
- Extractivas (no energéticas)

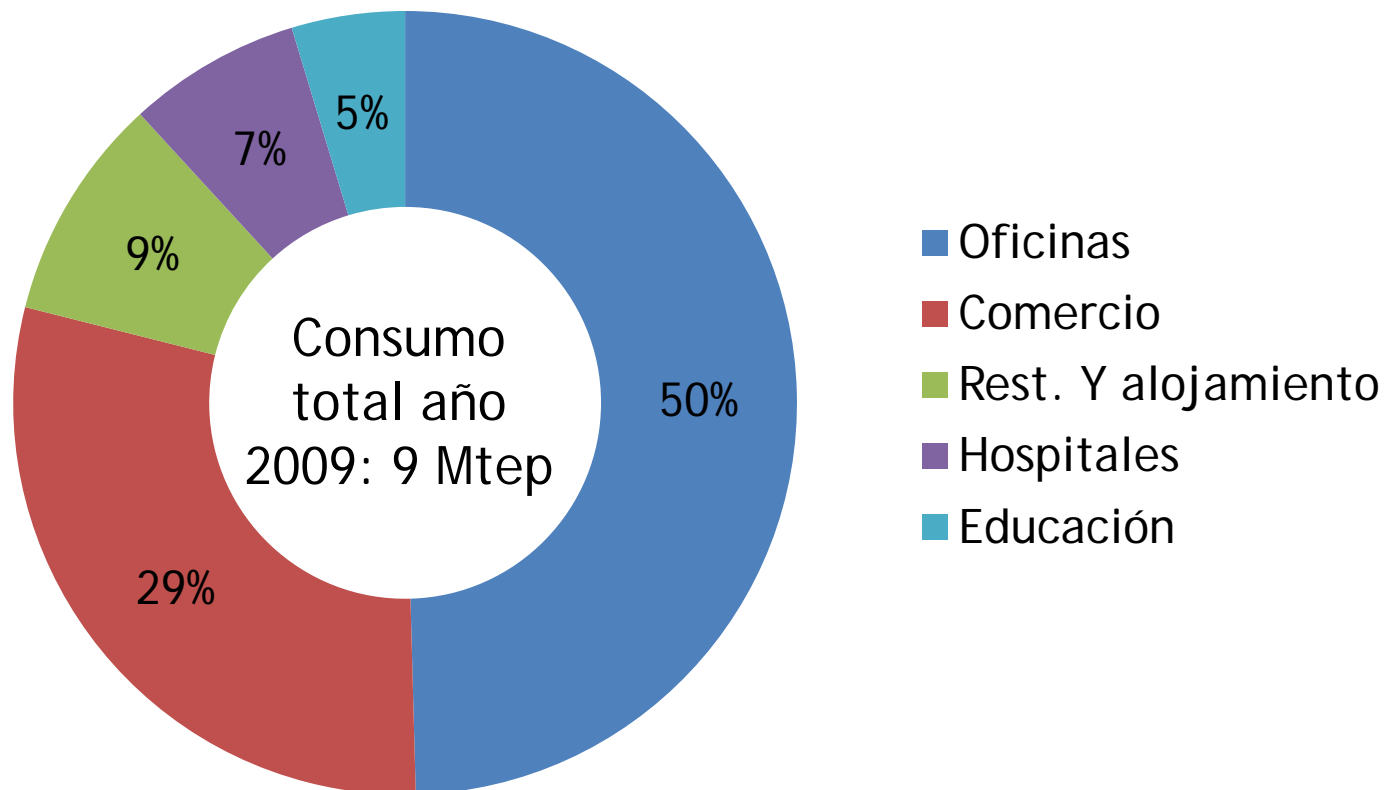
Fuente: Informe anual de consumos energéticos 2009. IDAE

**•En España las industrias del cemento, del vidrio y la cerámica (minerales no metálicos) son las de mayor consumo energético. La disminución del consumo respecto a 2008 ha alcanzado el 13%.**

# CONSUMO DE ENERGÍA EN EL TRANSPORTE

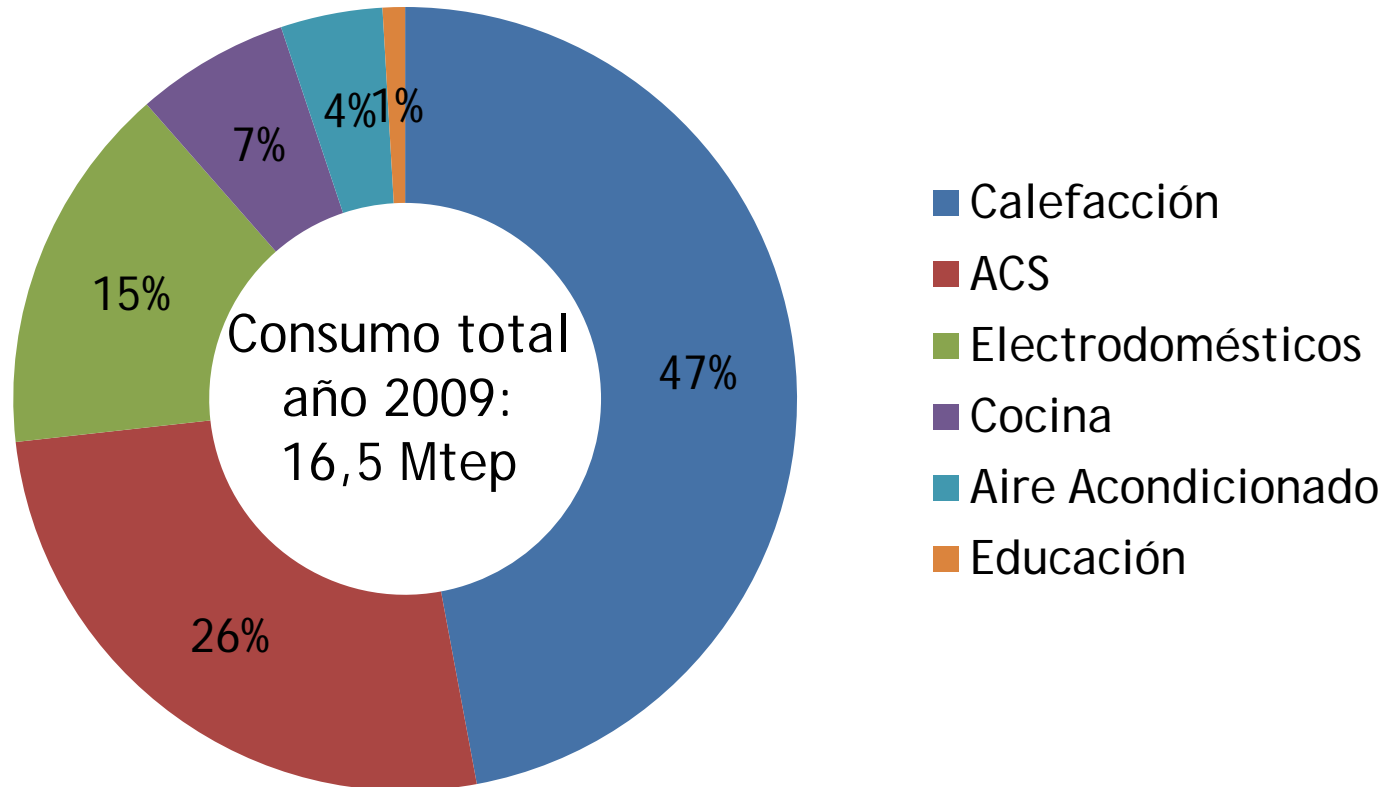


# CONSUMO DE ENERGÍA EN LOS SERVICIOS





# CONSUMO DE ENERGÍA EN USOS RESIDENCIALES



# EL TRANSPORTE Y LA MOVILIDAD EN CRECIMIENTO:

- A nivel mundial supone el 20% del consumo final de energía. En la Unión Europea representa el 30% del CFE. En España alcanza el 40% de ese consumo final
- El desarrollo de la economía mundial se une al transporte
  - Incremento del de mercancías a corto plazo
    - El proyecto del Canal de Panamá un ejemplo
  - Mayor movilidad ciudadana a medio plazo
    - Grandes conurbaciones, turismo y economía
- La aplicación de las EE. RR. Al transporte pasa por el uso de dos vectores
  - La Electricidad (coche eléctrico)
  - Los biocombustibles



Barco porta contenedores, Canal de Panamá.- Noviembre 2007

# EL TRANSPORTE Y LA MOVILIDAD SON POR CARRETERA:

- España: En la carretera la mitad son mercancías y la mitad movilidad
  - La parte urbana de la movilidad es la mitad de ella
    - Movilidad obligada, centros de trabajo y estudio
    - Baja ocupación del vehículo: 1,1 a 1,2 personas
  - Transporte de mercancías, pudiera ser por ferrocarril
    - Mercancías no perecederas: autos y carbón
    - Aparecen empresas de tráfico mixto
- Importante crecimiento del transporte aéreo: personas y mercancías

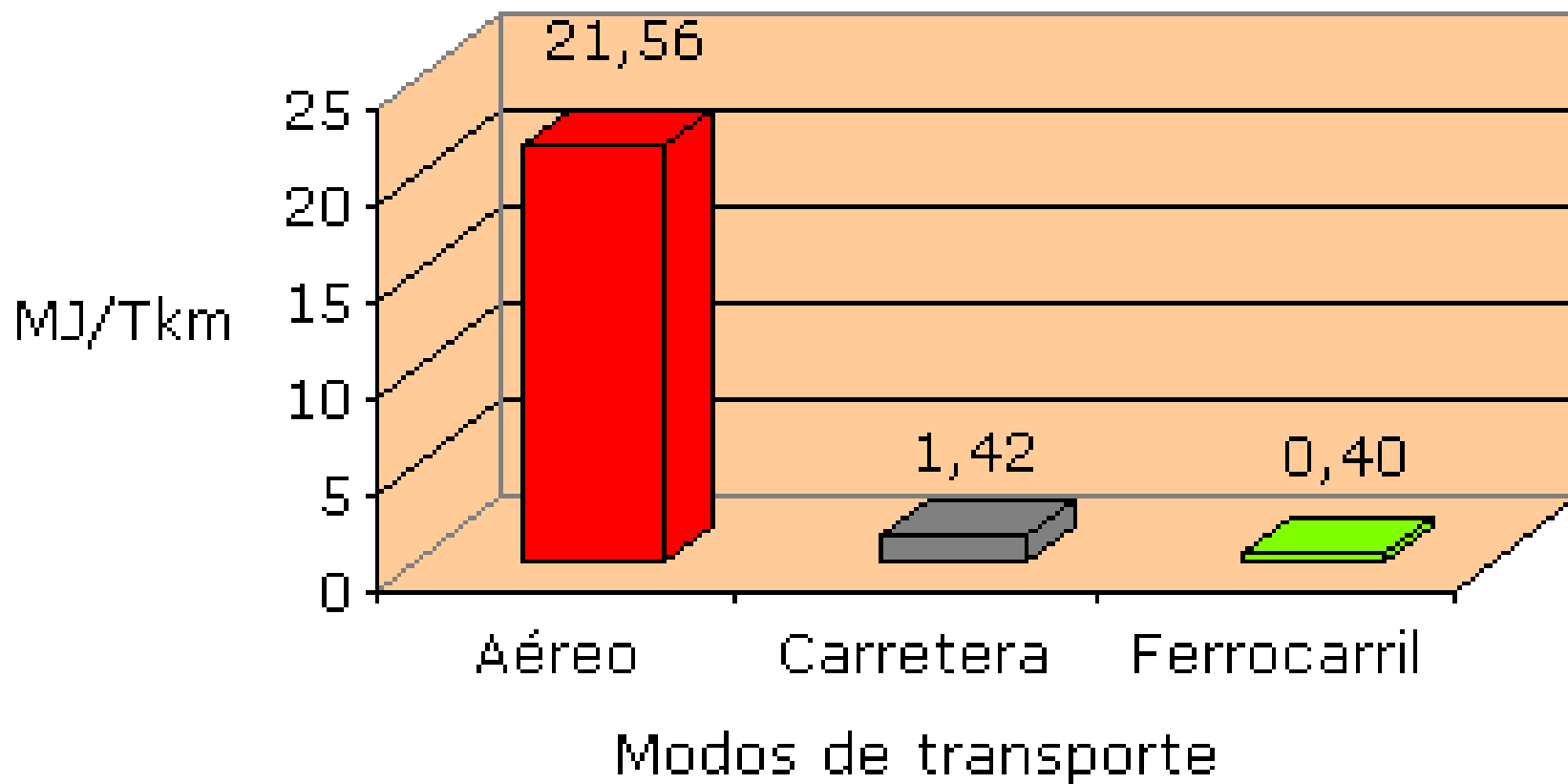
# ES PRECISO CAMBIAR EL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS:

- Pero en la actualidad crece el transporte por carretera
  - A mayor ratio que el crecimiento del PIB
    - Economía española dependiente del petróleo
- No es fácil. Hay un esquema empresarial y laboral
  - 350.000 personas en este transporte, 2/5 autónomos
- Los consumos específicos de energía son muy distintos
  - Hacia un tren con tracción eléctrica



# EL CAMIÓN CONSUME TRES VECES Y MEDIA MÁS QUE EL FERROCARRIL

## Intensidad Energética por modos de transporte de mercancías



# LA EVOLUCIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE ES LENTA:

- Los presupuestos en infraestructuras son continuistas
  - Son partidas presupuestarias muy significativas
    - Sistema empresarial y de empleo
- En movilidad estamos condicionados por nuestro urbanismo
  - También por el turismo como factor económico
- El automóvil tiene un bajo rendimiento: 20% sobre la masa
  - Si lo medimos sobre el pasajero se queda en 1 a 2%
- Otras movilidades son posibles, pero no avanzan en firme

# CONSUMOS RESIDENCIALES Y SERVICIOS EN AUMENTO



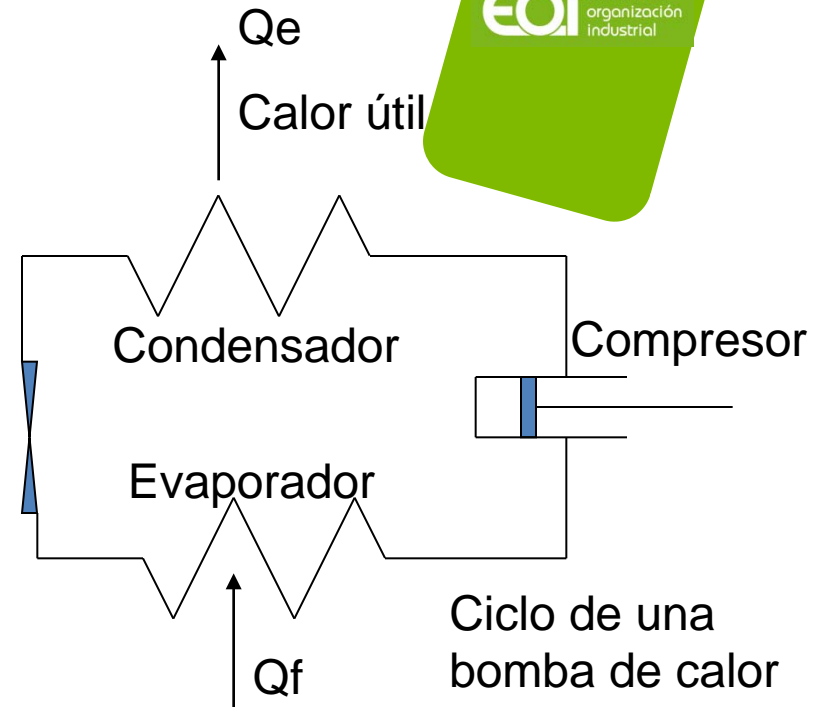
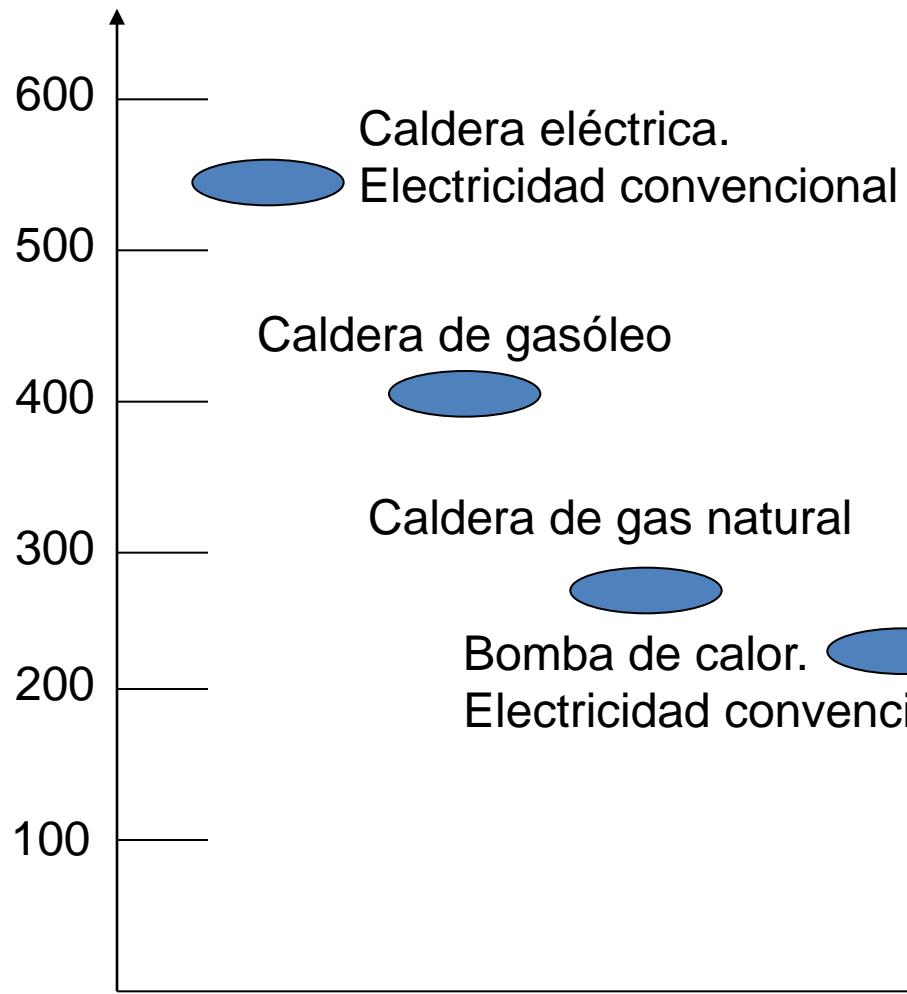
- Aporte de calor el concepto mayoritario en viviendas
- La producción de frío afecta en mayor medida a los servicios
- Puede haber pautas culturales de eficiencia energética
  - O de gestión de la demanda eléctrica. (Ciudades)
- Extensión de la bomba de calor.- Aplicación geotérmica
  - Incremento de la demanda de electricidad
- Desarrollo de la energía solar de baja temperatura
  - No sólo para agua caliente sanitaria. Otros usos







Emisiones de CO<sub>2</sub>  
gr/kWh de calor, (860 kcal)



Bomba de calor. Gas natural

Bomba de calor. Electricidad de alta participación EE.RR.



## **INTENSIDAD ENERGÉTICA:**

- **Expresión general. Válida para cualquier dimensión económica, sea de un entorno de carácter social público o privado.**

**Energía consumida**

---

**Valor económico añadido**

- **Se suele tomar como un ratio para la valoración de la eficiencia energética de un país:**

**Energía Primaria Consumida**

---

**Producto Interior Bruto**

- **En la Unión Europea, al 2008, es de unos 150 tep/millón de euros (España 120 en 2009)**

# INTENSIDAD ENERGÉTICA EN ESPAÑA

## Consumo de energía final por unidad de PIB. (tep./Millón de Euros ctes. de 2000)

	1980	1983	1986	1989	1992	1995	1998	2003	2005	2007	2008	2009
PIB	353,2	363,6	391,7	459,2	494,3	515,4	572,8	691,4	739	796,2	803,37	774,5
Carbón/PIB	9,92	14,62	12,21	9,48	7,1	5,24	4,46	3,52	3,28	2,91	2,59	1,88
P. Petrolíferos/PIB	106,84	93,18	89,92	86,21	85,94	91,1	93,72	86,67	83,54	77,78	74,18	71,51
Gas/PIB	3,45	3,05	5,12	8,96	10,43	12,71	16,91	22,27	23,85	22,3	21,48	19,6
Electricidad/PIB	21,94	22,68	23,09	22,67	23,24	24,18	24,95	27,43	28,19	27,85	27,7	27,12
Energía final/PIB	142,15	133,53	130,34	127,32	126,71	133,23	140,04	139,89	138,87	130,83	125,95	120,12
Indice. (Año 1980=100)	100	93,94	91,69	89,57	89,14	93,72	98,51	98,41	97,69	92,04	88,6	84,5

# TENEMOS NECESIDAD DE MEJORAR EL MODELO:



- Su incidencia en el comportamiento de la economía es elevada
  - Muy negativa para los países menos desarrollados
    - Para ellos la energía y el petróleo son muy caros
- Es necesario avanzar hacia el uso eficiente de la energía
  - Consumir menos y desarrollar más el mundo pobre
    - Es fácil de decir pero muy difícil de conseguir
- El camino hacia las energías renovables es largo y complejo
  - Necesidad de inversiones muy elevadas



---

# Capítulo 2

Refino de petróleo.- Biocombustibles líquidos

# REFINERÍAS DE CRUDO LIGERO Y MEDIO:

- Son instalaciones complejas de tecnología sofisticada
  - No sólo fraccionamiento de crudo. Mejora de calidad
    - Eliminación de azufre y de metales
- Evolución tecnológica en conexión con demanda de productos
  - El mayor consumo son y serán los carburantes
    - En Europa de momento el gasóleo
- Incertidumbre respecto a la calidad de crudo en el futuro
  - ¿Crudo pesado hacia gasificación y síntesis?

# EL GASÓLEO ES CRÍTICO EN EL SISTEMA ESPAÑOL:

- Es el componente mayoritario de nuestro esquema de refino
  - Pero aun así no es suficiente para atender la demanda. Se importan unos 10,8 Mt/a en 2010 (mientras que se exportan 3,4 Mt/año de gasolina)
- El esfuerzo mayor se he dirigido a mejorar calidad de producto
- 10.000 estaciones de servicio.- De CAMPSA a REPSOL
- Aparece excedentes de gases licuados del petróleo
  - “Bombona de butano”, también propano
- Hay excedentes de pesados.- ¿Hacia generación eléctrica?

**Crudo refinado: 58,2 millones de t**



**Desglose porcentual:**

2,4% GLP

16,4% Naftas y gasolinas

**Ligeros 18,8%**

5,2% Queroseno

43,4% Gasóleos

**Medios 48,6%**

16,8% Fuelóleo

15,7% Asfaltos, lubricantes,  
coque y otros

**Pesados 32,6%**

Fuente.- CORES



# COMPOSICIÓN DE LOS PRECIOS EN ESPAÑA GASOLINA SP95 Y GASÓLEO A



(1) Desde el día 1 de julio de 2010 el IVA es el 18% en vez del 16%

(2) Desde el día 13 de junio de 2009 el Impuesto Especial de Hidrocarburos aumentó 2,9 cts€/litro tanto para la gasolina como para el gasóleo A

(3) Ci =Media ponderada de las cotizaciones diarias altas CIF Mediterráneo (70%) y CIF Noroeste de Europa (30%)

Fuente: Boletín Petrolero UE y Platts





# ¿CUÁL SERÁ LA ENERGÍA PARA EL TRANSPORTE?:

- Previsiblemente no toda vendrá del petróleo. Ya empieza
  - El gas natural parece la opción más probable
    - Quizás también provendrá alguna del carbón
- Los biocombustibles líquidos pueden ser significativos
  - En la actualidad se producen 59,3 Mtep. (2,1%)
    - ¿Se llegará a corto plazo, año 2020, al 10%, 275 Mtep/a.?
- En Europa mayor interés por biodiesel que por bioetanol
- Tracción eléctrica

# ESTADOS UNIDOS Y BRASIL PROMUEVEN EL DESARROLLO DE BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS:

- La dependencia del petróleo exterior es ya muy elevada en USA
  - De otro lado parece que sus reservas decrecen
- México ha alcanzado ya su “Pico del petróleo”
  - Pudiera incrementar sus extracción en aguas profundas
    - Necesidad de inversiones y cambios estructurales
- América tiene disponibilidad de tierra para agroenergía
  - ¿500 millones de hectáreas?
    - ¿Cuál será la incidencia ambiental y social?

**Las reservas globales de crudo han evolucionado:**

**Año 1990.- 1003 “Billion bbl”**

**+ Oriente Medio 65,7%**

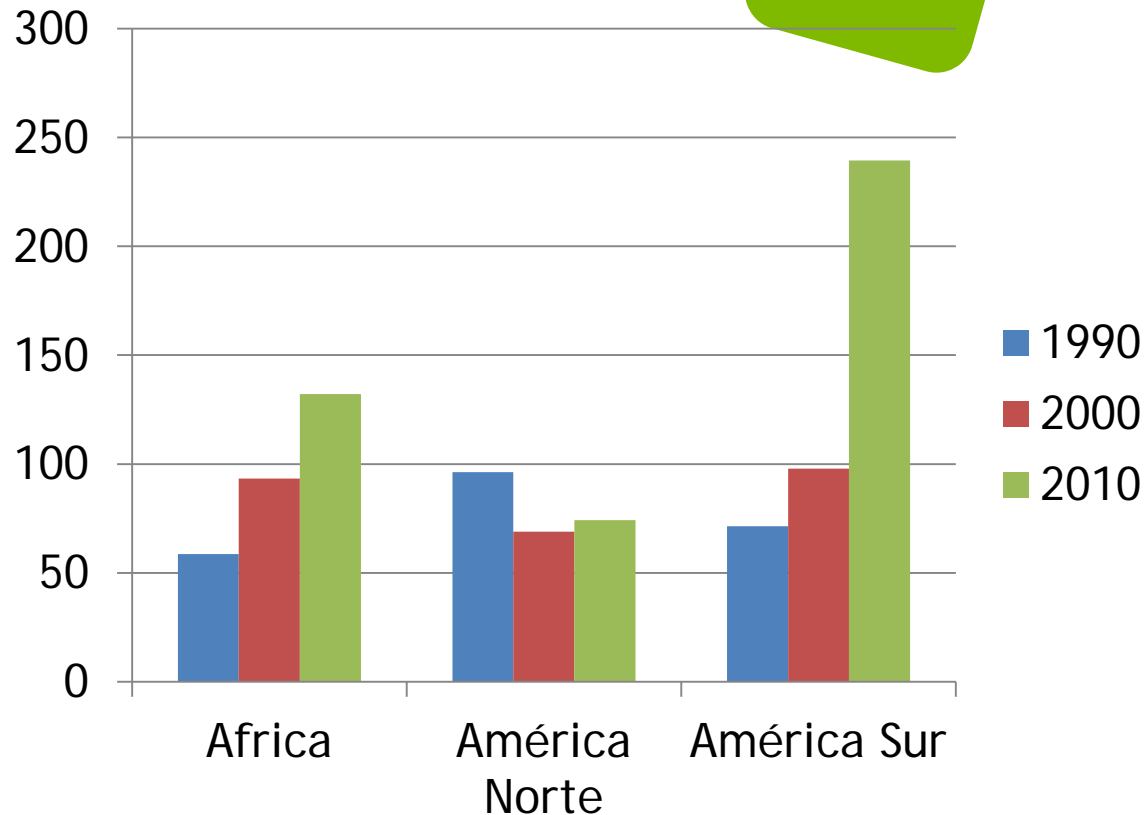
**Año 2000.- 1105 “Billion bbl”**

**+ Oriente Medio 63,1%**

**Año 2010.- 1383 “Billion bbl”**

**+ Oriente Medio 54,4%**

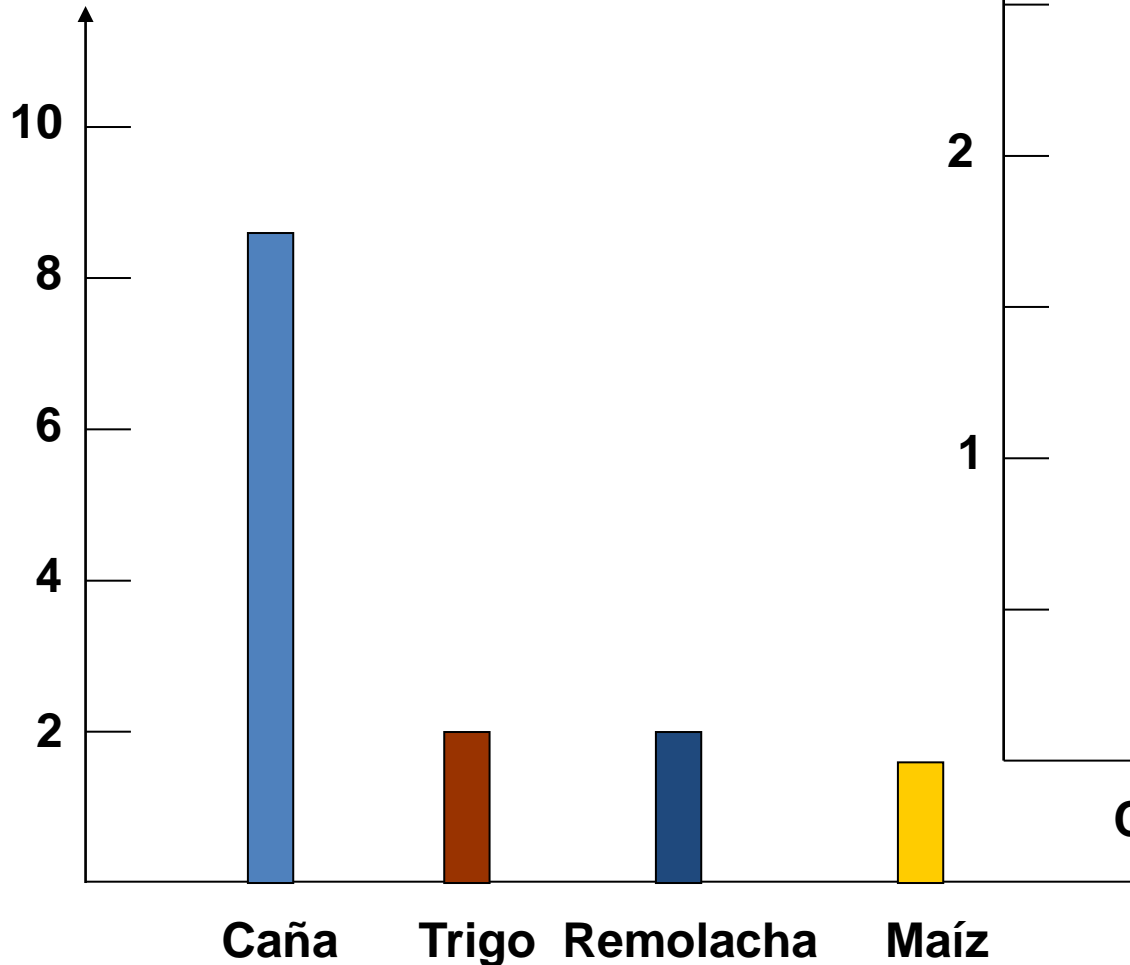
## Reservas de crudo Miles de millones de barriles



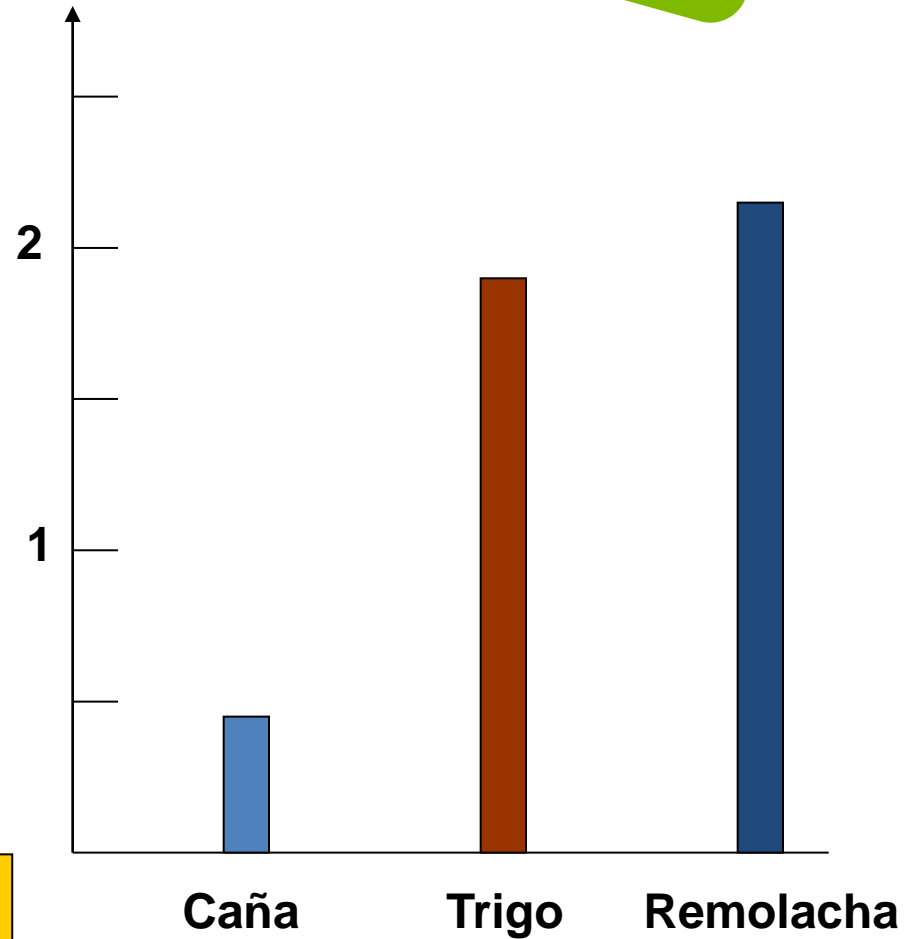
Fuente: statistical review of world energy 2011

- **La disparidad geográfica entre las reservas y los consumos crea potenciales conflictos.**
- **¿Por qué hay guerras en África? ¿La habrá en Venezuela?**

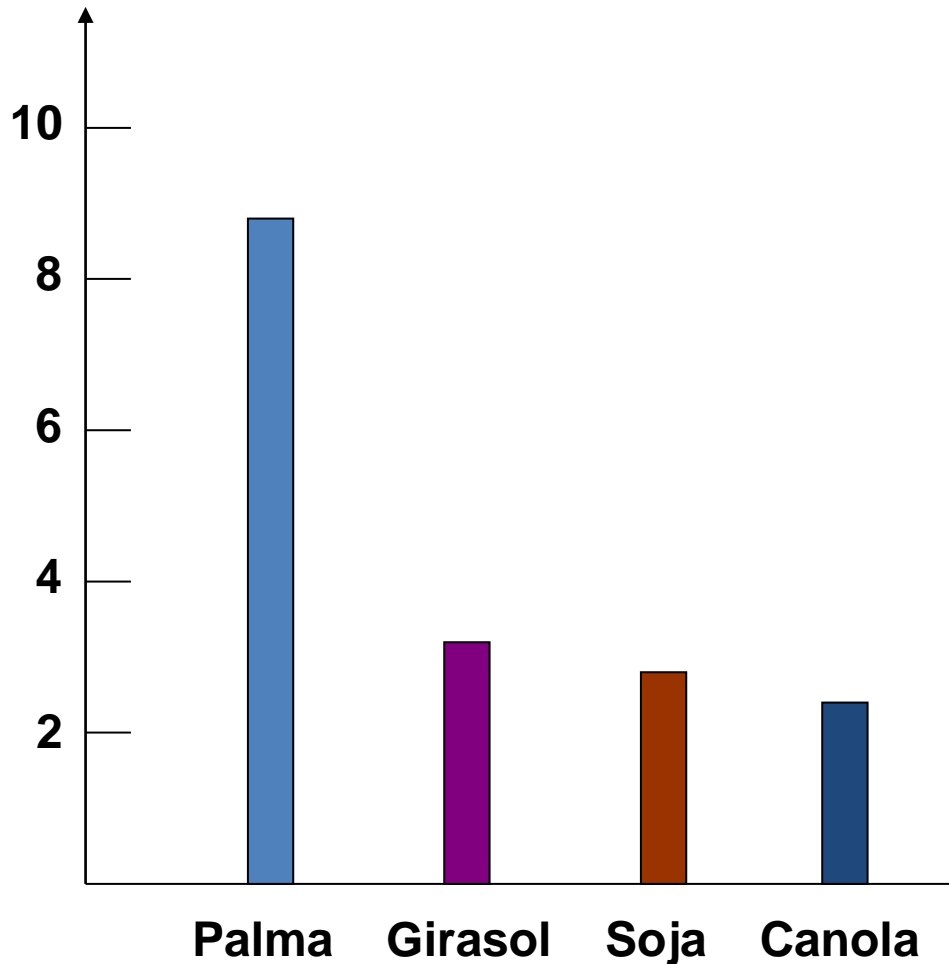
## Energía recuperada por unidad energética no renovable consumida



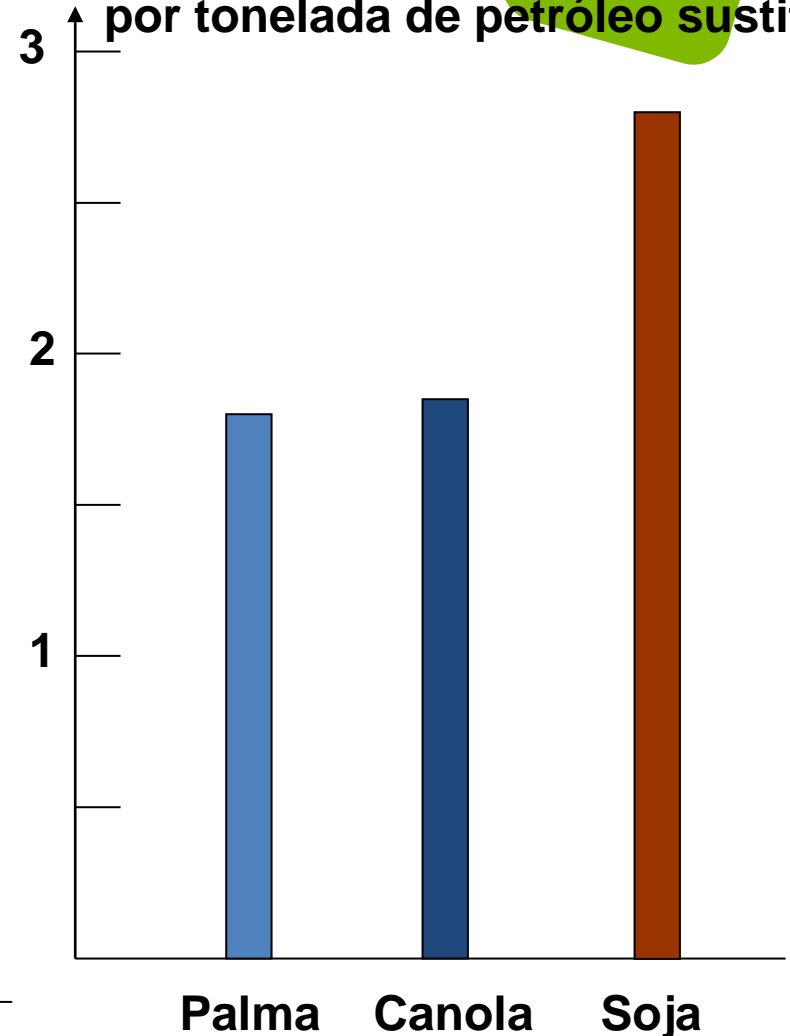
## Emisiones en t. de CO<sub>2</sub> equivalente por tonelada de petróleo sustituida



## Energía recuperada por unidad energética no renovable consumida



## Emisiones en t. de CO<sub>2</sub> equivalente por tonelada de petróleo sustituida



Fuente ADEME. Comisión Europea



**Planta de Biodiesel de Caparrosa.- Producción 70.000 toneladas anuales**  
**Inversión.- 45 millones de euros.- Puestos de trabajo directos 45**

Máster en Energías Renovables y Mercado Energético/ José M<sup>a</sup> Paz

[www.eoi.es](http://www.eoi.es)

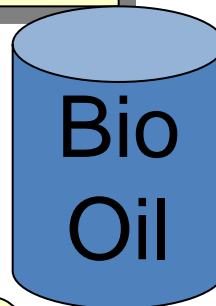


## POSITIVAS:

- Será un vector energético muy fácil de suministrar
- Fomentará las exportaciones
- Reducirá la emisión de gases de efecto invernadero

## NEGATIVAS:

- Incidirá negativamente en la alimentación humana
- Incrementará la pobreza en los más pobres
- No reducirá las emisiones de gases de efecto invernadero



## INCIDENCIA EN EL EQUILIBRIO ESTRATÉGICO:

- La tecnología es accesible a muchos países y además con bajo coste de desarrollo.
- Capacidades en países con alta disponibilidad de tierra





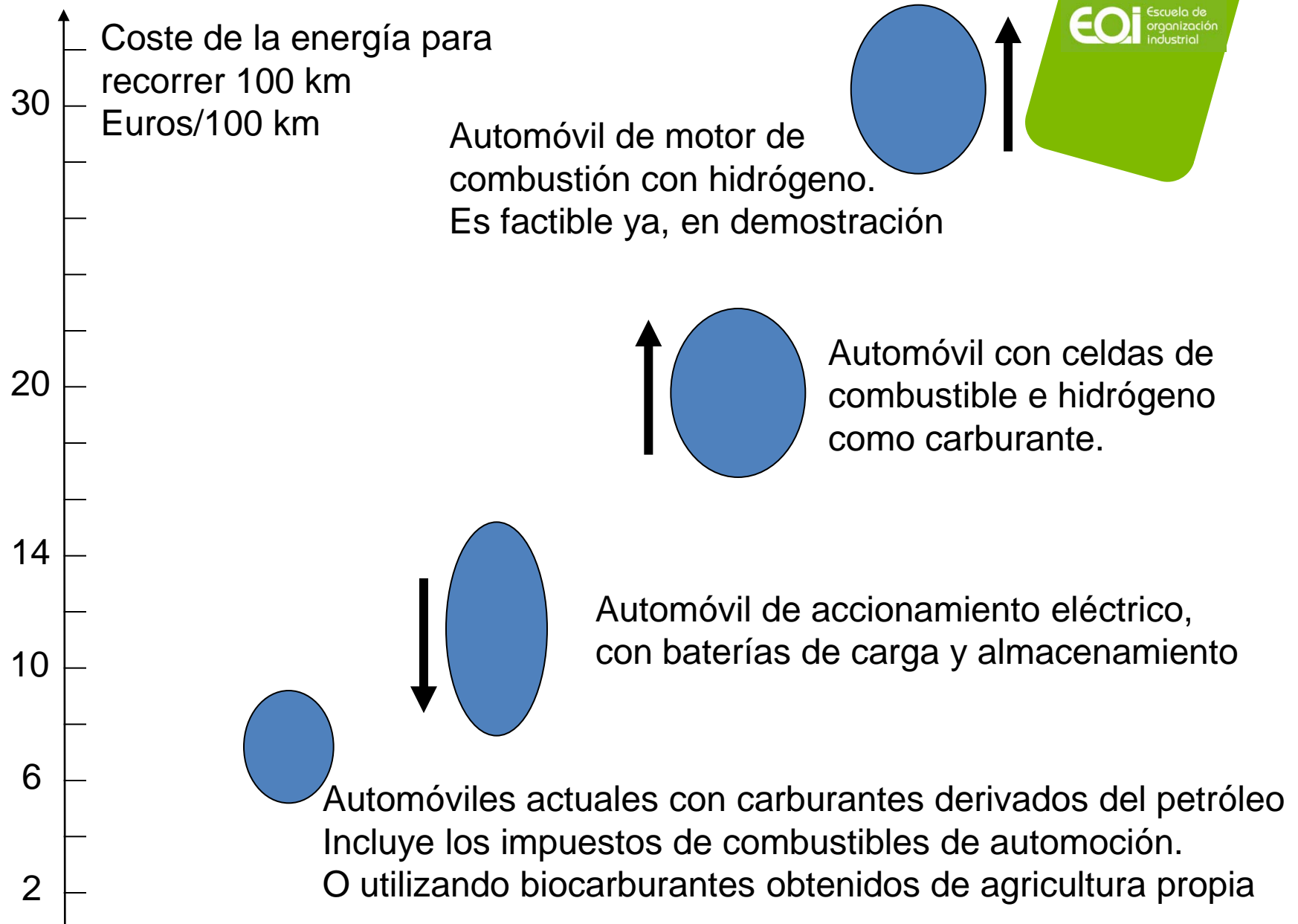
Master en Energías Renovables y Mercado Energético / Clase 19 De [www.eco.es](http://www.eco.es)

**Los monocultivos agreden a la biodiversidad.-Cosecha de soja**



# SE PUEDE DESARROLLAR EL AUTOMÓVIL ELÉCTRICO:

- El hidrógeno parece muy lejano. Condicionantes tecnológicos
  - Densidad, manejo. Coste energético muy elevado
    - Cinco veces el actual de los carburantes
- Automóviles de momento urbanos: pequeños y eficientes
  - Consumo: 0,2 kWh/km
  - Extensibles a trayectos no muy largos: 300 km
- Recarga eléctrica durante la noche. Curva de carga aplanada
  - Oferta de electricidad nocturna en ciudades (difícil en entornos de mercado)



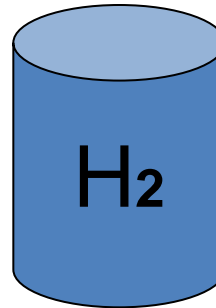
# PERCEPCIONES SOBRE EL HIDRÓGENO

## POSITIVAS:

- Reducirá la emisión de gases de efecto invernadero
- Será un vector energético muy fácil de suministrar

## NEGATIVAS:

- Puede aumentar el fenómeno del calentamiento global
- Su coste será excesivo



## INCIDENCIA EN EL EQUILIBRIO ESTRATÉGICO :

- La tecnología es sólo accesible a países ricos y medios, (fuertes)
- Los costes de desarrollo serán elevados. Precio diferenciador

# LOS BIOCARBURANTES QUIZAS SON SOLUCIÓN PUENTE:

- De momento su desarrollo es fundamentalmente en América
  - Lo será también previsiblemente en Europa
    - También en otros países: China por ejemplo
- La tierra para ello será la de países agroexportadores
  - ¿Exportarán “tierra” o ganarán con ese comercio?
    - ¿Esquilmarán sus tierras y el entorno?
- Quizás los países ricos pasen a la electricidad y el hidrógeno
  - En los años 2050.- Biocarburantes para los pobres

---

# Capítulo 3

La cadena del gas natural. España “Isla Energética”

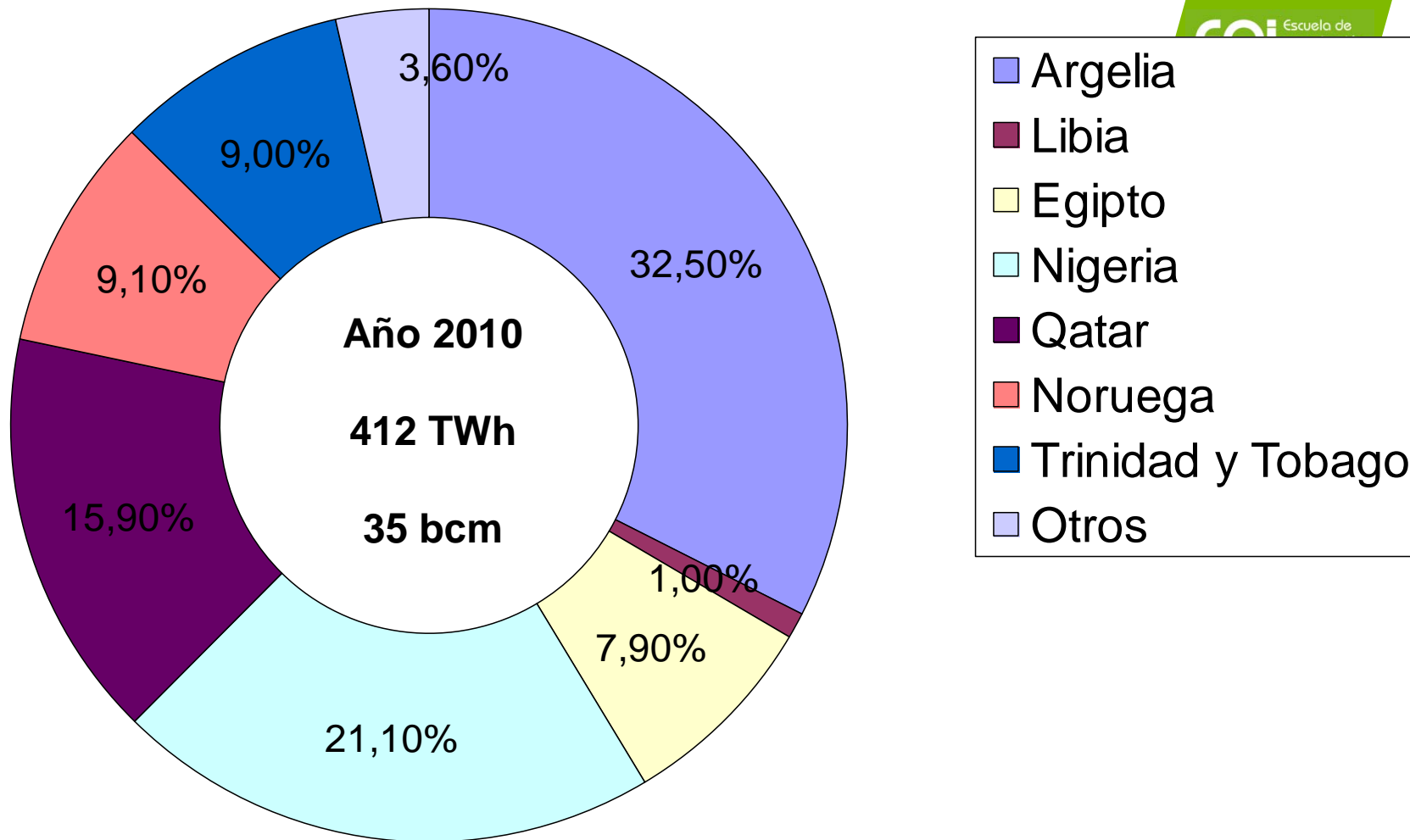
# HEMOS PUESTO MUCHAS ILUSIONES EN EL GAS:

- Es un combustible limpio y fácil de utilizar
  - En el sistema eléctrico conlleva bajas inversiones
- ¿Se parece esa ilusión a la del año 1973 respecto al petróleo?
  - Toda la generación eléctrica iba a ser con fuel oil
- España consume en la actualidad 34 bcm de gas natural
  - ¿Se cumplirán las expectativas?.- 70 bcm al 2030
  - Las importaciones proceden de países musulmanes
    - Parece que eso seguirá siendo así

# TENEMOS MUCHA CONFIANZA EN EL GAS NATURAL:

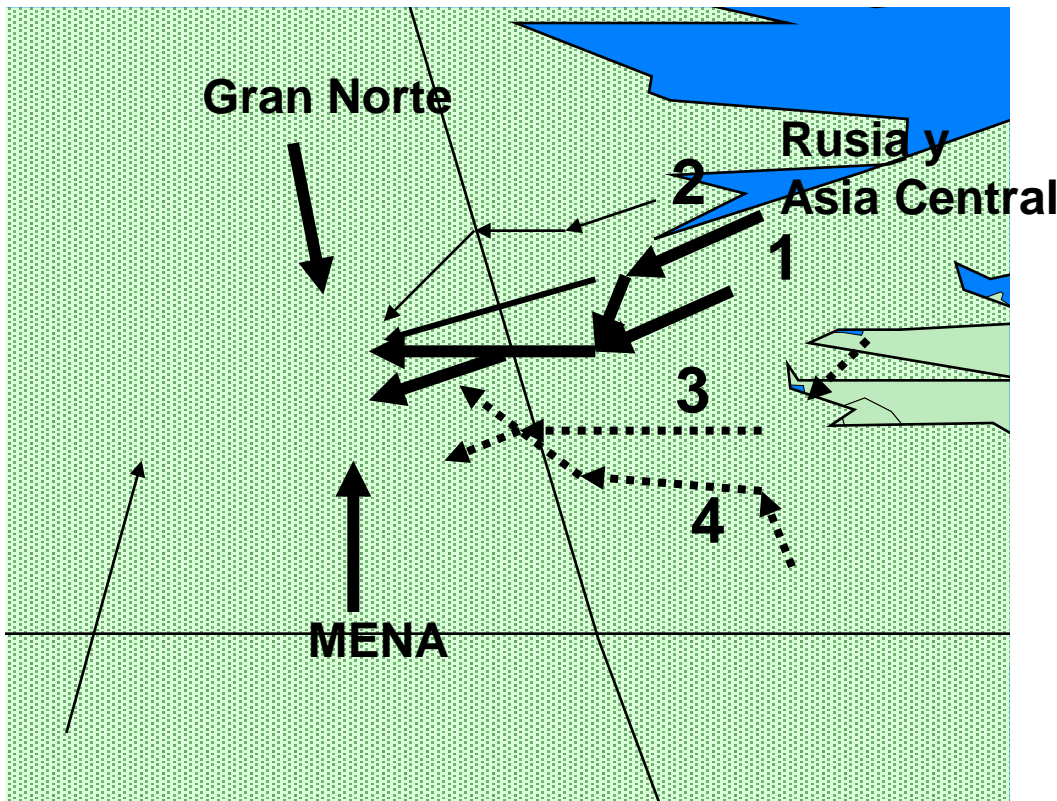
- A primera vista sus reservas parecen abundantes
  - Pero su extracción y transporte son complejas
    - El ritmo de llegada al usuario tiene sus límites
- Debemos desconfiar de los “Hidratos de metano”
  - Su extracción provocará pérdidas hacia la atmósfera
    - El CH<sub>4</sub> es un gas de efecto invernadero
- Hay que mirar a los hidrocarburos como un solo conjunto
  - Recordando que el pico del petróleo está ahí





Fuente: Cores

- De Argelia se importaron 134 TWh, algo menos que en 2009.
- El suministro de Egipto, 32,7TWh, es muy inferior al del año 2009 (51,5 TWh).
- Nigeria ha incrementando las exportaciones hacia España, de forma significativa (de 50,9 a 87TWh)



## Suministros externos a la Unión Europea en 2007:

- Gazprom.- 160 bcm
- Países MENA.- 110 bcm
- Noruega.- 80 bcm

**Nota.- Valores aproximados**

**Año 2030. Demanda de gas natural en la Unión Europea: a 800 bcm.**

**+ La importación total sería de unos 600 bcm**

- Rusia y Centro de Asia.- 250 bcm
- Norte de África y Oriente Medio. MENA.- 250 bcm
- Noruega.- 100 bcm



# EL TRANSPORTE DE GAS NATURAL ES BASTANTE RÍGIDO:

- Los gasoductos tienen puntos de inicio y de llegada
  - Hasta 3.000 km más económicos que el barco
    - A veces se proponen de mayor longitud
      - Casos de Venezuela o Nigeria
- El transporte en metaneros da una mayor flexibilidad
  - Inversiones en licuación y en regasificación
    - España y Japón líderes en esta línea
- La tecnología “GtL” una opción para los países exportadores

Planta de licuación del gas natural en puerto

Almacén de gas licuado en puerto

Pozo de extracción

Barcos metaneros

Planta de regasificación

Usuarios finales

Yacimiento de gas natural

Gasoductos:

- De yacimiento a puerto
- De puerto a usuarios finales
- De yacimiento a usuarios finales

Almacenamiento geológico de regulación y para dar seguridad de suministro



# PENÍNSULA IBÉRICA, ASIMÉTRICA RESPECTO AL GAS:

- Se ha desarrollado primero en el lado mediterráneo de ella
  - Alto consumo energético. Ciudades y turismo. Limpieza
    - Es el lado de baja participación del carbón
- Se dirige de forma rápida hacia la generación de electricidad
  - Puntas coincidentes de gas natural y de electricidad
- Baja capacidad de almacenamiento.- 25 días de consumo
  - Se buscan “Trampas geológicas” .- Guadalajara
- Necesidad de disponer de grandes puertos en el Atlántico



## Buque metanero a la entrada de la ría de Ferrol.- Primavera 2008

---

# Capítulo 4

Generación, transporte y distribución de  
electricidad

# DESARROLLAR EL SISTEMA ELÉCTRICO ES COMPLEJO:

- La electricidad comercial tiene poco más de un siglo de vida
  - Las redes amplias de servicio público algo menos
    - 1896, línea de 11 kV de Niágara a New York
      - Corriente alterna: Westinghose y G.E.
- Utilizamos la electricidad con gran naturalidad. “En la pared”
- Seguimos con baja capacidad técnica de almacenar energía
  - Necesaria para un desarrollo amplio el sistema eólico
- Los sistemas amplios son más utilizables que los distribuidos



# EL SISTEMA ELÉCTRICO TIENE MALA IMAGEN AMBIENTAL:

- Ha habido problemas serios con las diferentes alternativas:
  - Hidráulica.- Afección de poblaciones. Ocupación de tierras. Afección a fauna.
  - Carbón.- Lluvias ácidas en Europa, también en España
  - Nuclear.- El gran debate social hoy de actualidad
- Las líneas de transporte están siendo motivo de discusión
- Las empresas eléctricas no hacen una buena comunicación
- Las energías renovables han venido desde la sociedad
  - Hemos de ver como se establece un diálogo después



**Trillo, Guadalajara**

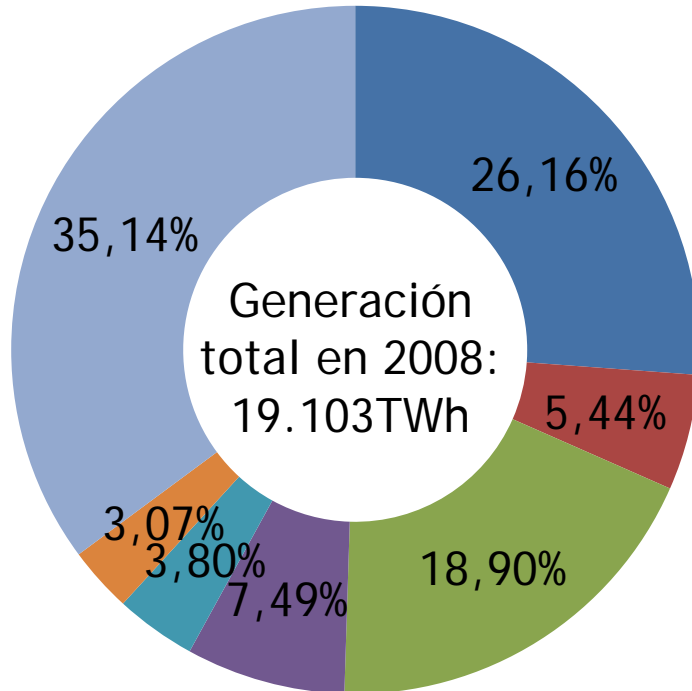
**Diciembre 2007**

**El sistema de generación y transporte de electricidad invaden con frecuencia el paisaje rural y urbano. Unos se acostumbran o lo aceptan. Otros discrepan de ello.**

# DESARROLLO ASIMÉTRICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO:

- Ha alcanzado altos niveles de servicio en países desarrollados
  - En ellos se precisa reposición y mantenimiento
- Muchos países tiene un bajo nivel de electrificación
  - El 20% de la población mundial sin acceso a la “luz eléctrica”
    - Elevada necesidad de inversiones
    - ¿Cuáles serán las fuentes de generación?
- El sistema energético requiere más del 3% PIB en inversiones
  - Electricidad muy intensiva en inversión

# Generación de electricidad en 2008



- América del norte
- Centro y Sur América
- Europa
- Eurasia
- Oriente Medio
- África
- Asia y Oceanía

Fuente: DOE

- La generación mundial bruta de electricidad es equivalente a la capacidad teórica de transformación del recurso hidráulico global.
- Aunque la energía hidráulica sólo contribuye a un 15% de esa generación global.

# EL SISTEMA ENERGÉTICO ES INTENSIVO EN INVERSIÓN:

- El subsistema eléctrico es el de mayor volumen de inversión
  - Los países desarrollados disponen de electricidad
  - La cuarta parte de la Humanidad sin luz eléctrica
- Hay preocupación por como va a llegar la inversión a todos
  - La Agencia Internacional de la Energía lo advierte
    - Una situación de crisis financiera no es favorable
- Algunos países “reconocen” la inversión en el sistema eléctrico
  - El “sistema regulado” denostado por los ultra liberales

# INVERSIONES EN EL SISTEMA ENERGÉTICO MUNDIAL

**Petróleo:**

Exploración y desarrollo: 72%

Refino: 13%

Otros: 15%

**Gas Natural:**

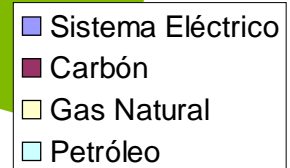
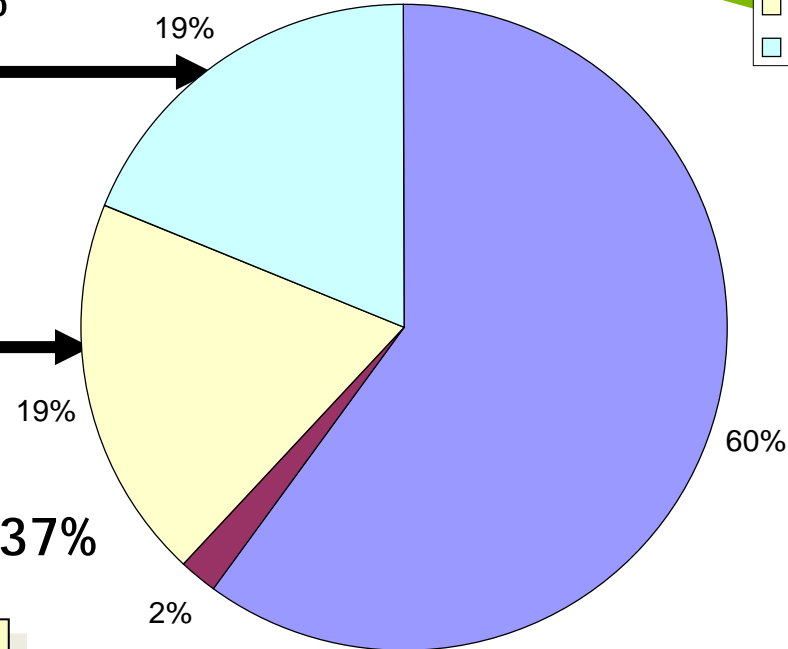
• Exploración y desarrollo: 55%

• Cadena del GNL: 8%

• Transporte, distribución y alm.: 37%

**Total de 2000 a 2030:**

**26.000.000 Millones de Dólares  
(1,4% del PIB mundial)**



**Sistema Eléctrico:**

• Generación ..... 46%

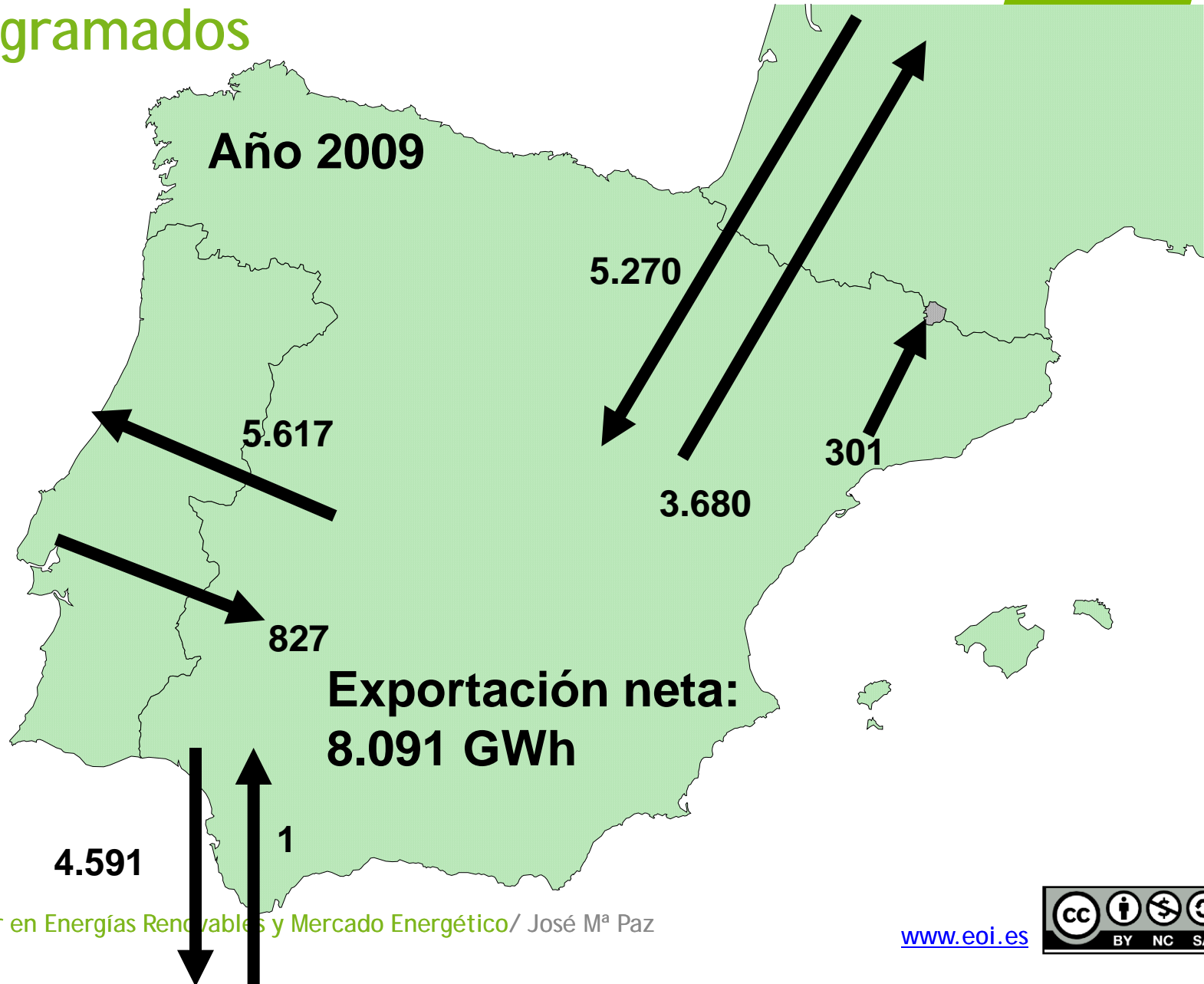
• Transporte y Distribución ... 54%

Fuente.- Agencia Internacional de la Energía WEO 2009

# LA PENÍNSULA IBÉRICA ES UNA “ISLA ELÉCTRICA” :

- Nuestro desglose de generación es similar a la media europea
  - Aunque con mayor participación renovable, 20%
- El gas es la primera fuente; ciclo combinado más cogeneración
  - ¿Doblará la generación al año 2030?
- Tenemos muchas incertidumbres respecto al escenario nuclear
  - “Continuista a 60 años”, “Abandono”, “Retorno” (FEE)
- Bajo nivel de intercambio de electricidad con otros países
  - La integración con Portugal crecerá.- “MIBEL”

# Intercambios internacionales programados



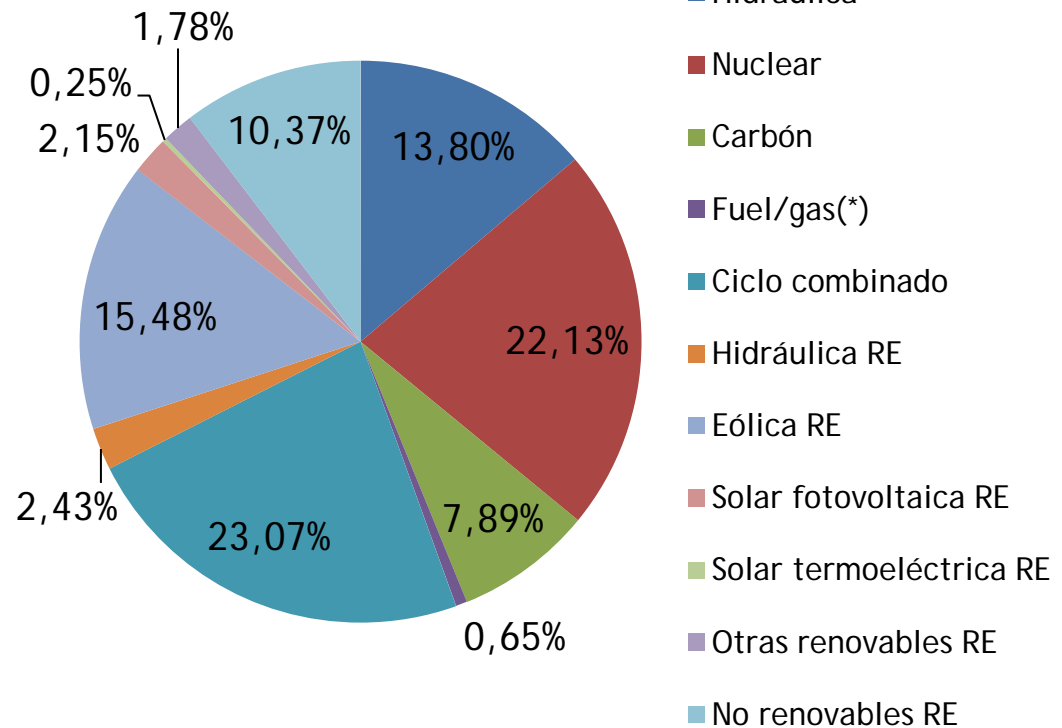


# Balance eléctrico 2010

## Estructura de la generación bruta de electricidad en 2010

### Cobertura de la demanda de energía eléctrica (GWh)

	<b>2.010</b>
Régimen ordinario	189.169
- Consumos en generación	-8.004
Régimen especial	90.903
Generación neta	273.399
- Consumos en bombeo	-4.458
+ Intercambios internacionales (**)	-8.333
Demanda (b.c.)	260.609



Fuente: REE

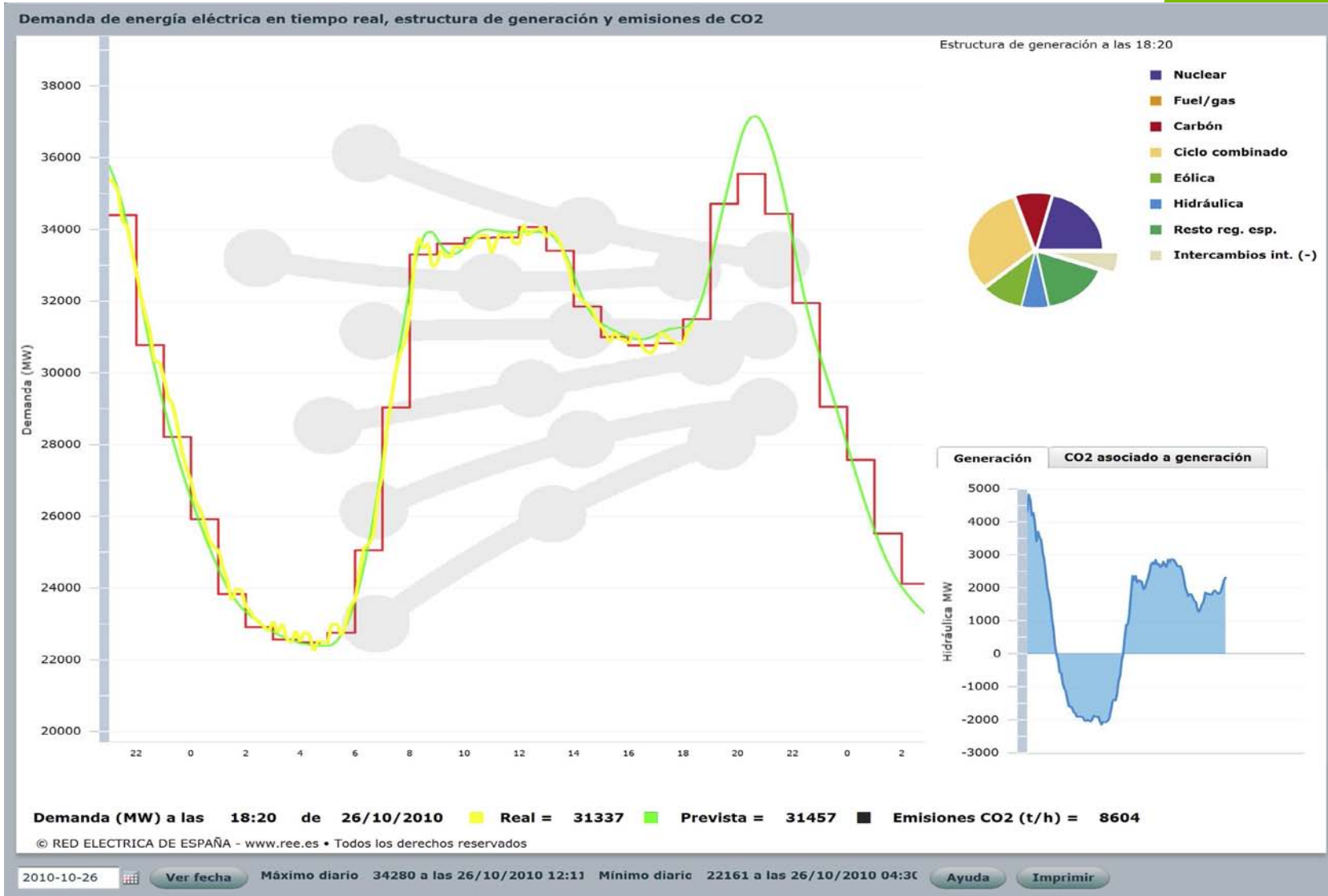
Máster en Energías Renovables y Mercado Energético/ José M<sup>a</sup> Paz

[www.eoi.es](http://www.eoi.es)



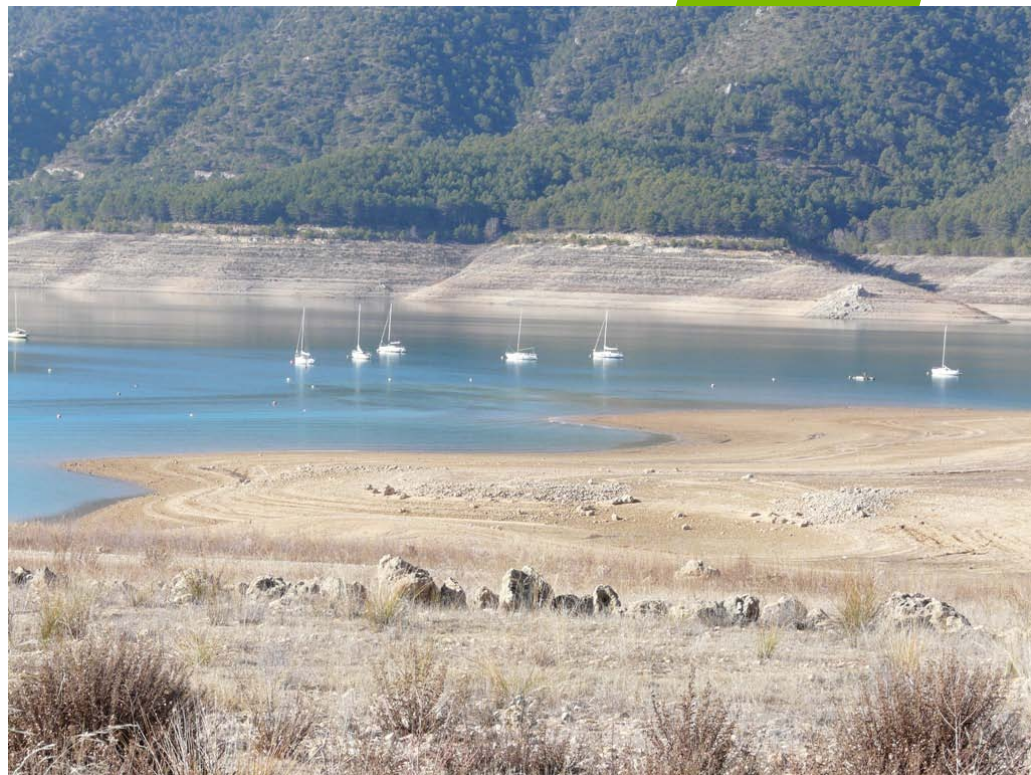
# EL SISTEMA ELÉCTRICO SE HA FRACCIONADO:

- En el esquema de “Servicio Público” tenía “Integración Vertical”
  - “Regulado”, con reconocimiento de las inversiones
  - REE como empresa eje del sistema
- Las empresas de generación debieran hacer inversiones altas
  - Generación estable: carbón - energía nuclear
    - No todo el mundo considera esto necesario
- Las empresas de comercialización pudieran aplanar la curva (difícil a precios de mercado)
  - Curva de demanda, fenómeno urbano preocupante



www.ree.es





**Embalse de Entrepeñas, Guadalajara  
Diciembre de 2007**

### **CIUDADES SUMIDEROS DE ELECTRICIDAD:**

- **En España la mitad de la electricidad se va a la industria. Pero esta participación está decreciendo. En otros países es menor.**
- **Las ciudades, usos residenciales y servicios, consumen la otra mitad, demanda que está creciendo e incrementa las puntas.**



# NECESITAMOS DIBUJAR ESCENARIOS ENERGÉTICOS:

- En primer lugar para analizar su viabilidad técnica
  - Como se pueden cumplir además los compromisos
- Pero también para dialogar con la sociedad su cumplimiento
  - En el futuro serán necesarios los consensos sociales
- Al dibujar uno para España al año 2020 aparecen cuestiones
  - El debate nuclear o como cumplir el objetivo renovable
- En Europa esa incertidumbre también nos aparece
  - Por ejemplo con el gas natural y el carbón

# Generación bruta Miles de GWh/a

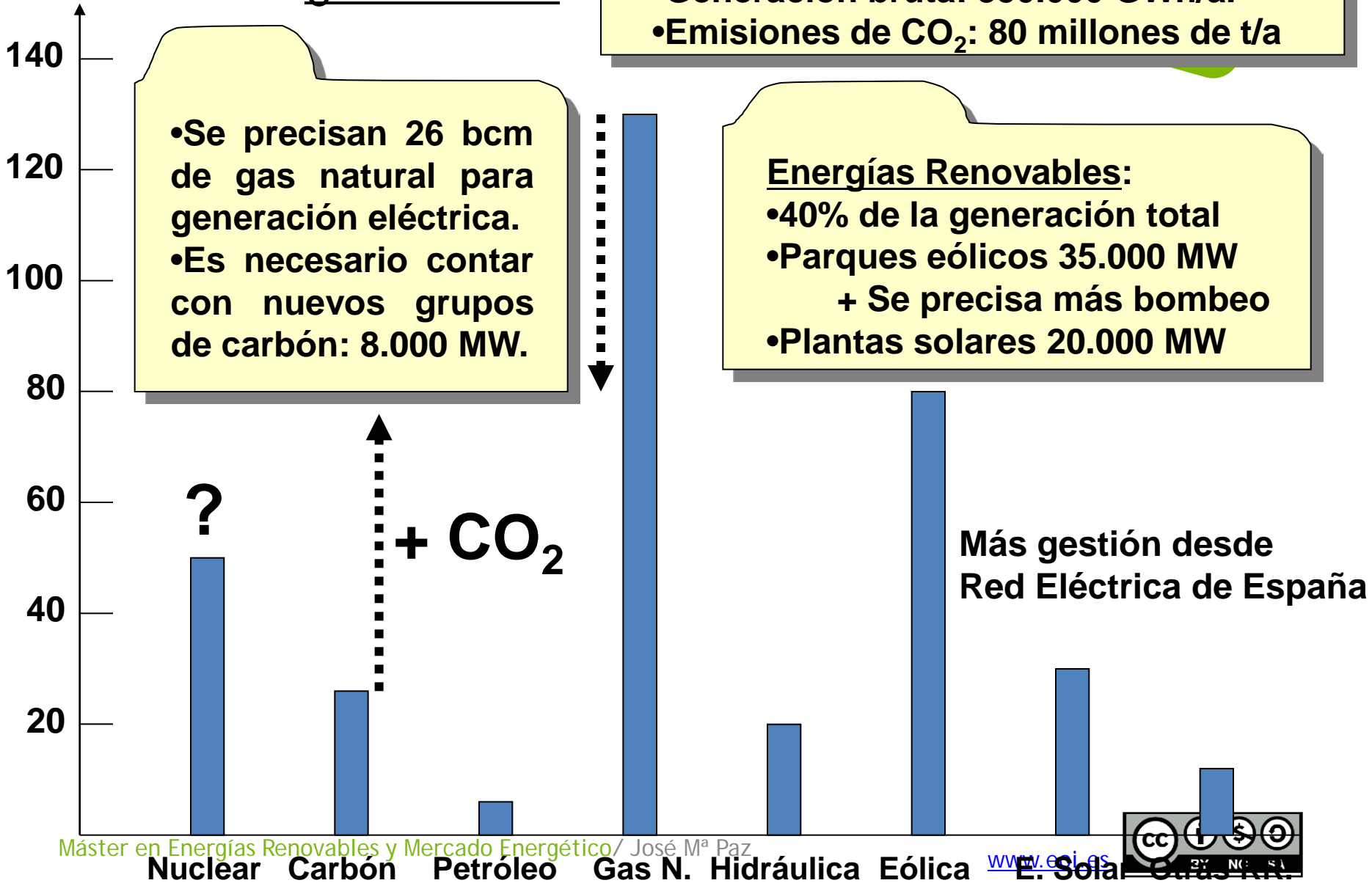
¿Año 2020?

- Se precisan 26 bcm de gas natural para generación eléctrica.
- Es necesario contar con nuevos grupos de carbón: 8.000 MW.

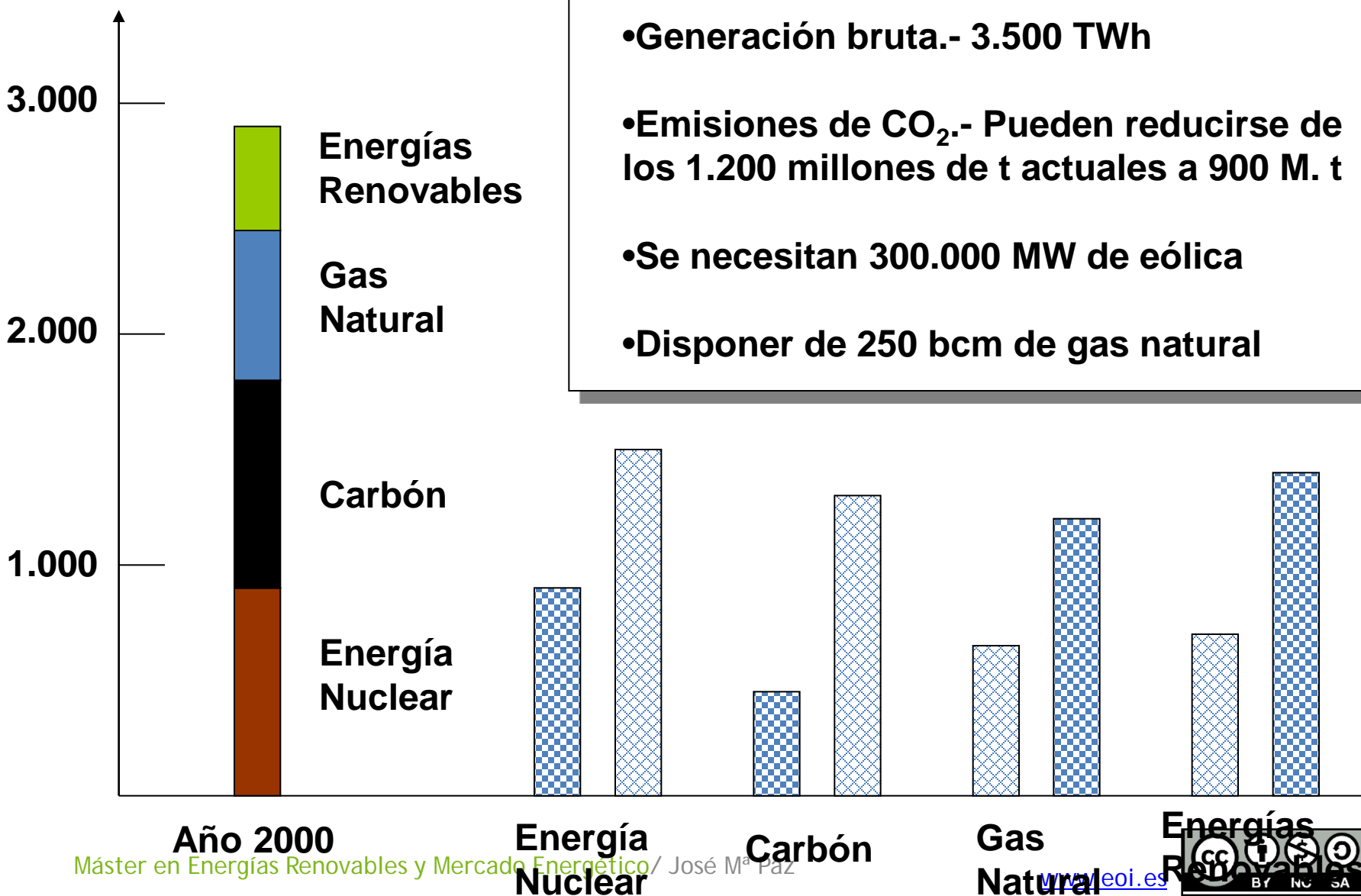
- Demanda neta total: 320.000 GWh/a
- Generación bruta: 350.000 GWh/a.
- Emisiones de CO<sub>2</sub>: 80 millones de t/a

## Energías Renovables:

- 40% de la generación total
- Parques eólicos 35.000 MW + Se precisa más bombeo
- Plantas solares 20.000 MW



# Generación bruta TWh/a



# DEBEMOS A REVISAR LAS DISTINTAS OPCIONES DE GENERACIÓN:

- La energía hidráulica que tiene potencial sin recuperar
  - América, África y Asia
- El gas natural que es la opción preferida en la actualidad
- Las centrales de carbón, con tecnologías actuales y las de futuro
  - Pensemos que seguirá pesando mucho durante años
- La energía nuclear, nos guste o no
- Las energías renovables. Es el objeto de este Master
  - Presentan un desafío tecnológico y social

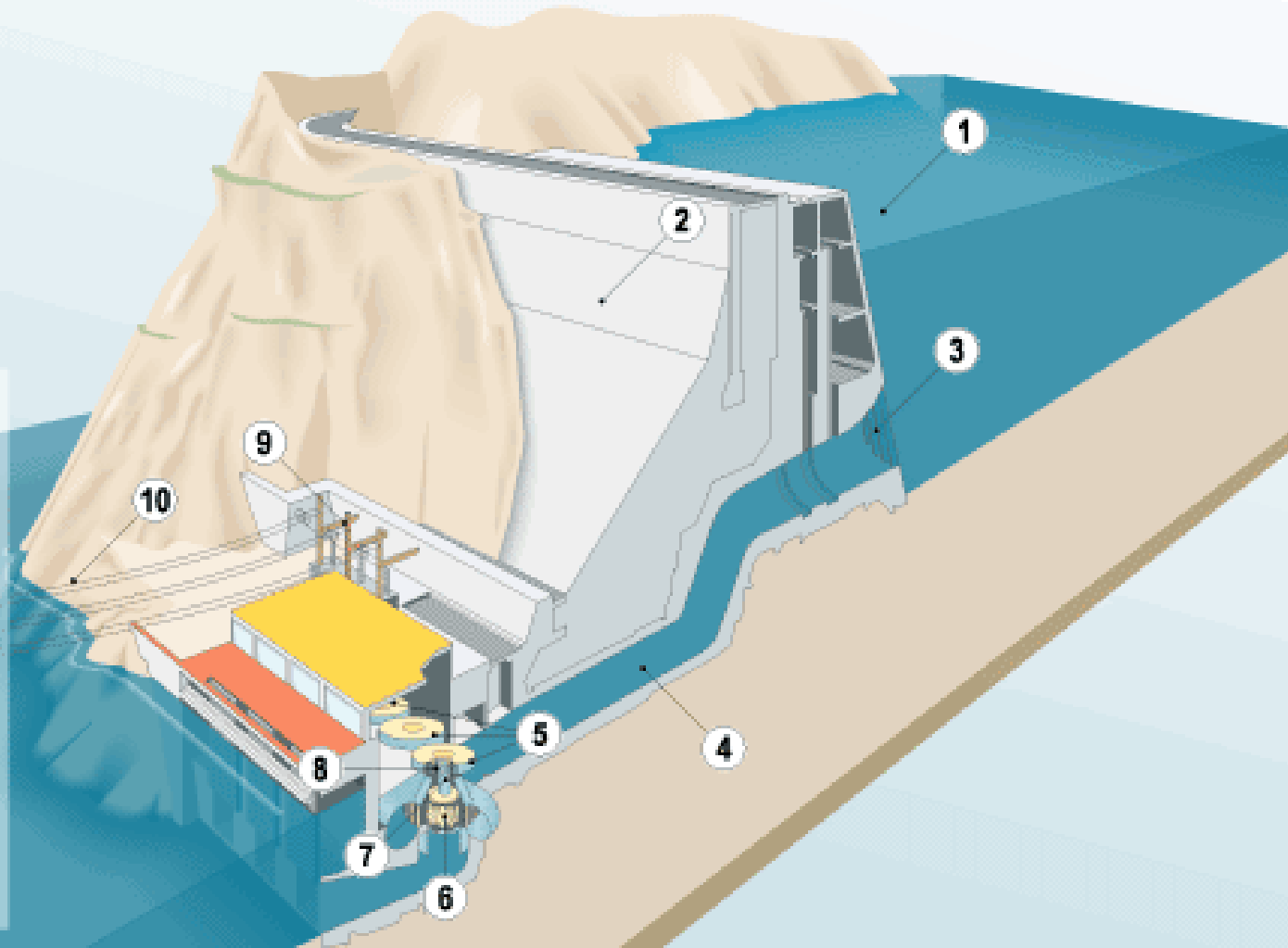


# LA GENERACIÓN HIDRÁULICA FUE LA BASE DEL SISTEMA:

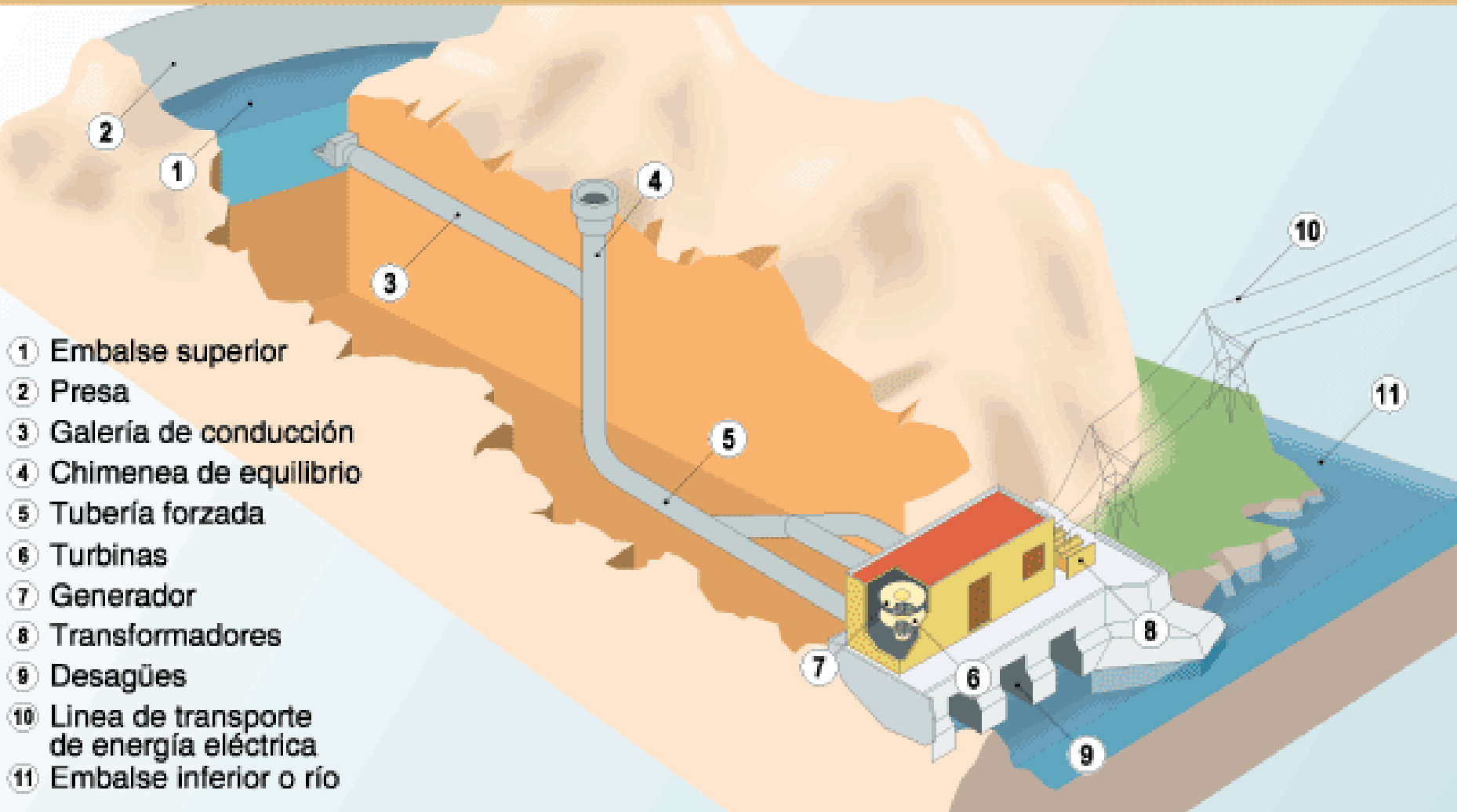
- Una vez que se desarrolla el transporte en corriente alterna
- Las grandes presas se inician en el año 1930.- TVA
- En España su desarrollo se extiende desde 1950 a 1970
- El recurso hidráulico en el mundo es de 16.000 TWh/año
  - Se recuperan 3.250 TWh/a
- Hay un potencial de recuperación muy elevado
  - ¿Cómo se hará? No es fácil hacerlo bien.
- Su desarrollo puede ir en paralelo con la energía eólica

# CENTRAL HIDROELÉCTRICA

- ① Embalse
- ② Presa
- ③ Rejas filtradoras
- ④ Tubería forzada
- ⑤ Conjunto de grupos turbina-alternador
- ⑥ Turbina hidráulica
- ⑦ Eje
- ⑧ Generador eléctrico
- ⑨ Transformadores
- ⑩ Líneas de transporte de energía eléctrica



## CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO





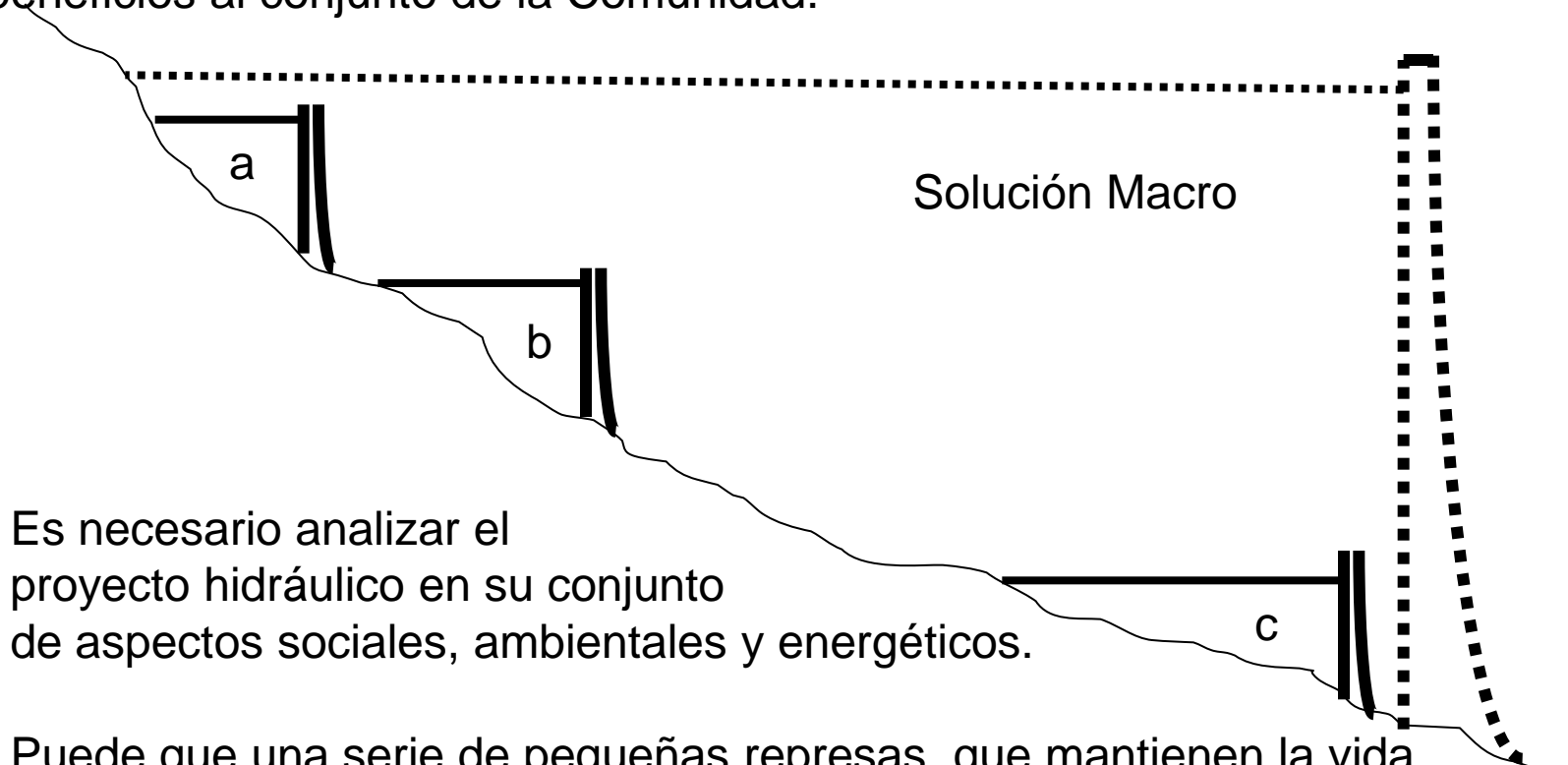
# ES PRECISO UN DIÁLOGO SOBRE LA HIDRÁULICA:



- Los embalses suponen una agresión ambiental y a veces social
  - Pero hay formas diversas de diseñar el sistema
    - El ejemplo discutible de Ralco en el río Bio Bio
  - Se busca la menor inversión y máxima rentabilidad
    - También seguridad de suministro a ciudades
- Rechazo creciente en Brasil e India, entre otros países
- Quizás el modelo de grandes embalses debiera cuestionarse
  - Estudiar las experiencias de Assuan y otras presas



- La solución macro almacena más energía, genera más electricidad y reporta más beneficios económicos empresariales.
- Pero desplaza personas, distorsiona el entorno y a la larga da menos beneficios al conjunto de la Comunidad.



Es necesario analizar el proyecto hidráulico en su conjunto de aspectos sociales, ambientales y energéticos.

Puede que una serie de pequeñas represas, que mantienen la vida en su entorno sea más viable a largo plazo que una macro instalación que obliga a desplazamientos humanos.

### I Cuestiones en contra:

- En el Lago Nasser se queda el lodo que periódicamente fertilizaba las tierras de las márgenes del Nilo.
- El Delta ha perdido aportes de tierra y se está salinizando por penetración de las aguas del mediterráneo.

Lago Nasser

Assuan

Río Nilo

El Cairo

Delta

### II Aspectos a favor:

- El control del flujo del río ha permitido tres cosechas anuales.
- Se suministra electricidad a El Cairo, ciudad de 10 millones de habitantes, que no sería viable sin esa energía.

## YACIRETÁ:

- 3.200 MW
- 21,3 m de altura
- 160.000 Ha
- Inversión: 11.500 millones de \$
- Problemas ambientales por anegación de un área con especial valor ecológico.



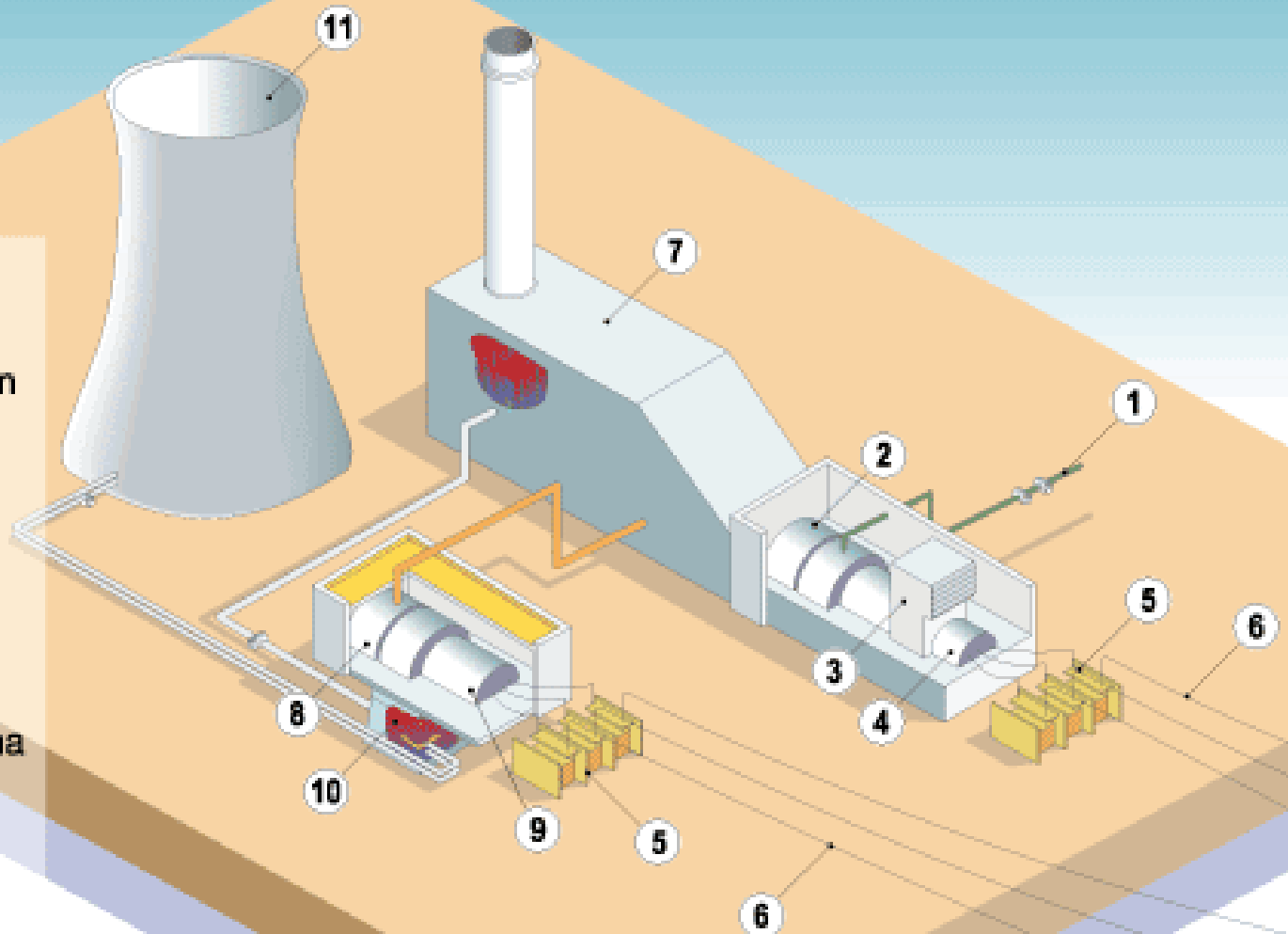
# LOS CICLOS COMBINADOS SE EXTIENDEN RÁPIDAMENTE:

- Inversión específica baja.- 700 €/kW.- “Sin reconocimiento”
  - Amortización posible a 10 años
- Rendimiento energético bueno.- 55% referido al PCI
- Bajas emisiones de contaminantes: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, metales
  - Aun así hay rechazo social en ciertos emplazamientos
- Emisión de CO<sub>2</sub>.- 350 g/kWh.- (En el carbón 1.000 g/kWh)
- El gas natural facilita el desarrollo de la cogeneración
  - Mejora de la eficiencia energética del sistema



# CENTRAL DE CICLO COMBINADO

- ① Entrada de aire
- ② Turbina de gas
- ③ Cámara de combustión
- ④ Generador
- ⑤ Transformadores
- ⑥ Líneas de transporte de energía eléctrica
- ⑦ Caldera de vapor
- ⑧ Turbina de vapor
- ⑨ Generador de la turbina de vapor
- ⑩ Condensador
- ⑪ Torre de refrigeración

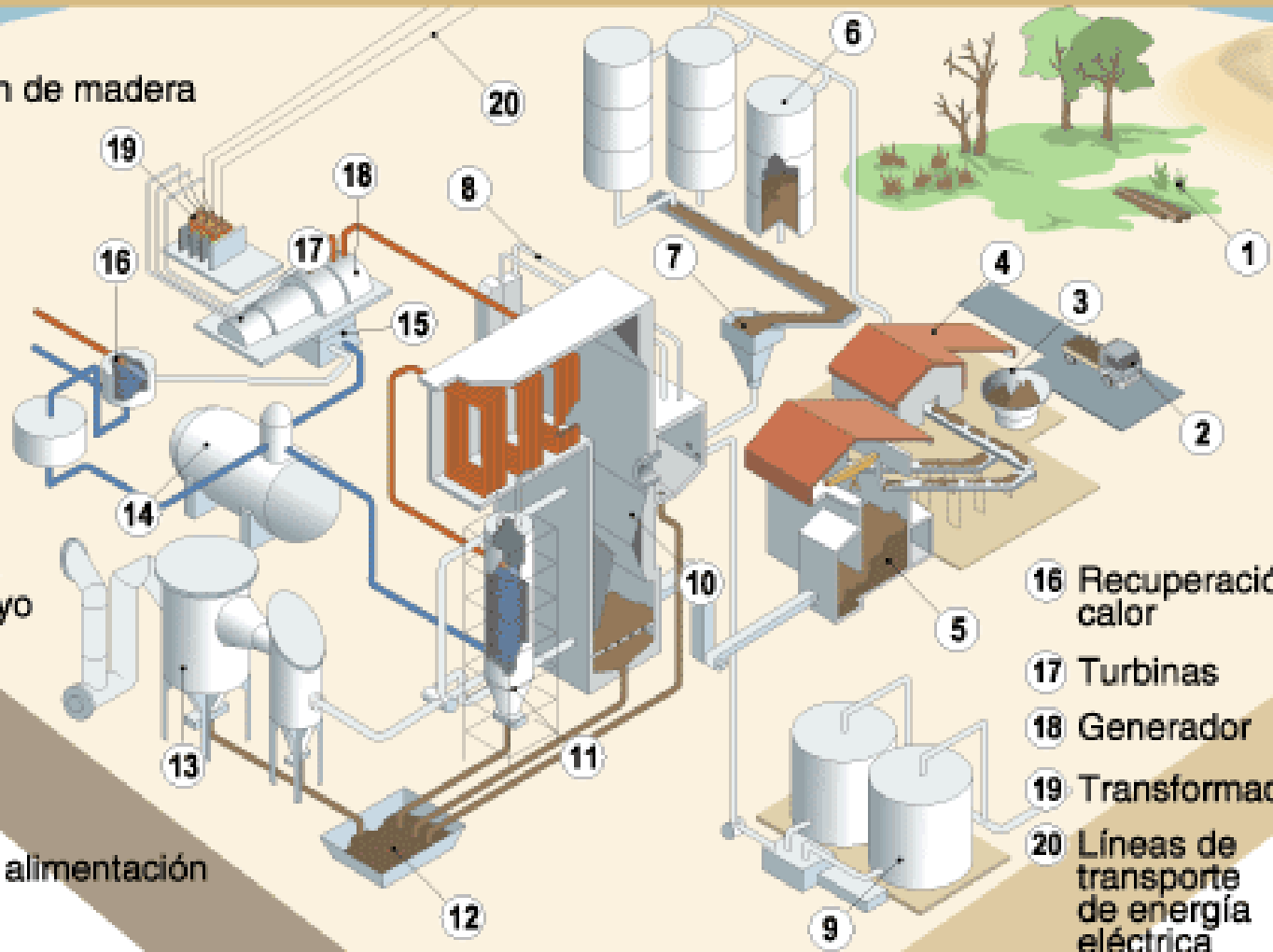


# LA COGENERACIÓN ADMITE DIFERENTES DISEÑOS:

- Es la recuperación del calor no utilizado en generación térmica
  - Calor para calentar agua y producir vapor
  - Sistemas en base a gas natural y derivados del petróleo
- La inversión es significativa pero no excesiva
  - Los empresarios buscan un sistema de primas
    - Mecanismo de desarrollo en España.- 5.000 MW

# CENTRAL DE COGENERACIÓN MEDIANTE BIOMASA

- 1 Cultivo y recolección de madera
- 2 Transporte
- 3 Astillado
- 4 Preparación
- 5 Almacenamiento de combustible grueso
- 6 Almacenamiento de combustible fino
- 7 Dosificador
- 8 Entrada de aire
- 9 Almacenamiento de combustible de apoyo
- 10 Caldera
- 11 Economizador
- 12 Cenicero
- 13 Electrofiltro
- 14 Tanque de agua de alimentación
- 15 Condensador



- 16 Recuperación de calor
- 17 Turbinas
- 18 Generador
- 19 Transformadores
- 20 Líneas de transporte de energía eléctrica

# CENTRAL INCINERADORA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

1 Nave de descarga

2 Puente grúa

3 Foso de basuras

4 Planta de selección

5 Separador magnético

6 Playas de fermentación

7 Eliminador de impurezas (abono)

8 Depósito

9 Horno

10 Caldera

11 Tratamiento de escorias

12 Depuración de gases

13 Chimenea

14 Turbina

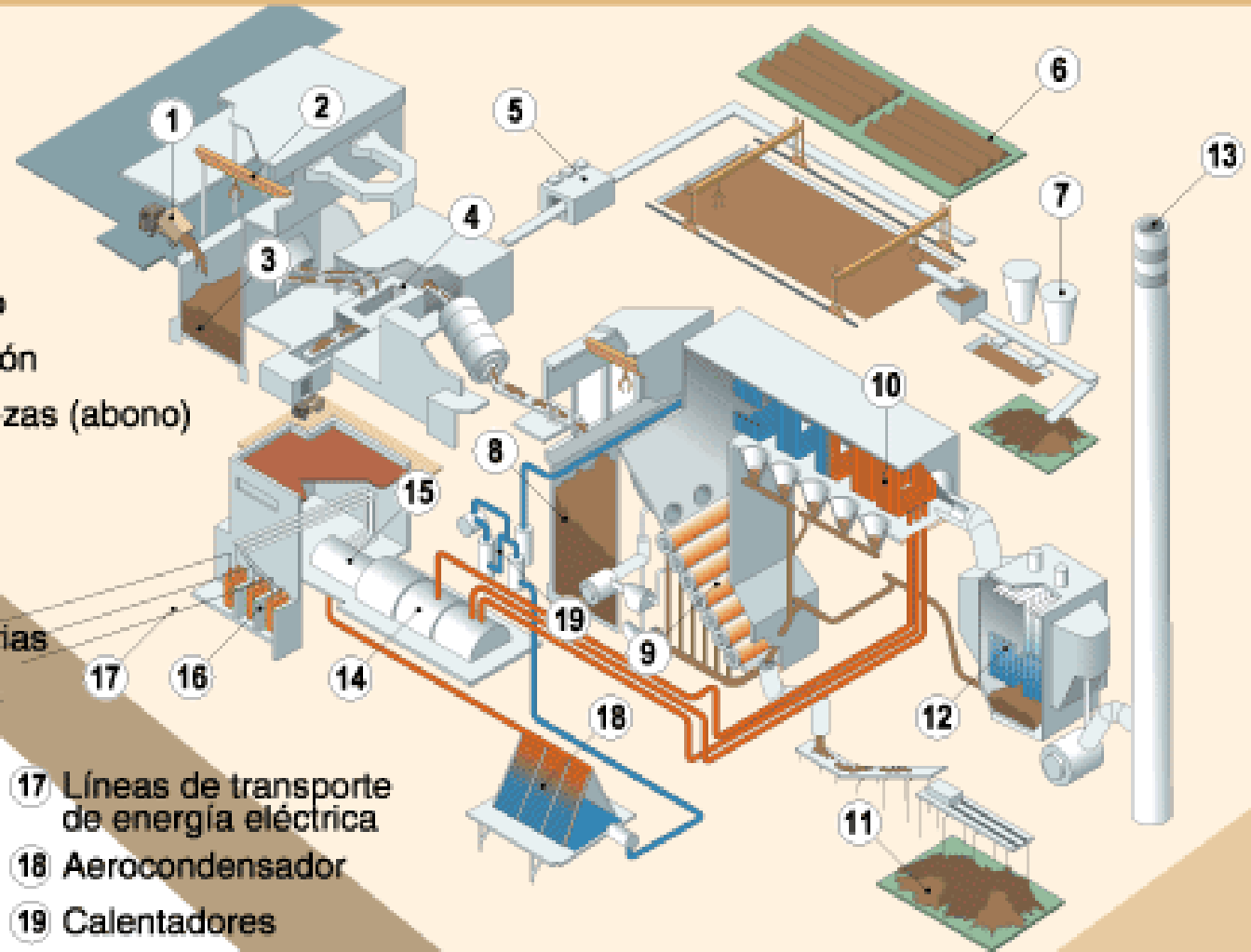
15 Generador

16 Transformadores

17 Líneas de transporte de energía eléctrica

18 Aerocondensador

19 Calentadores

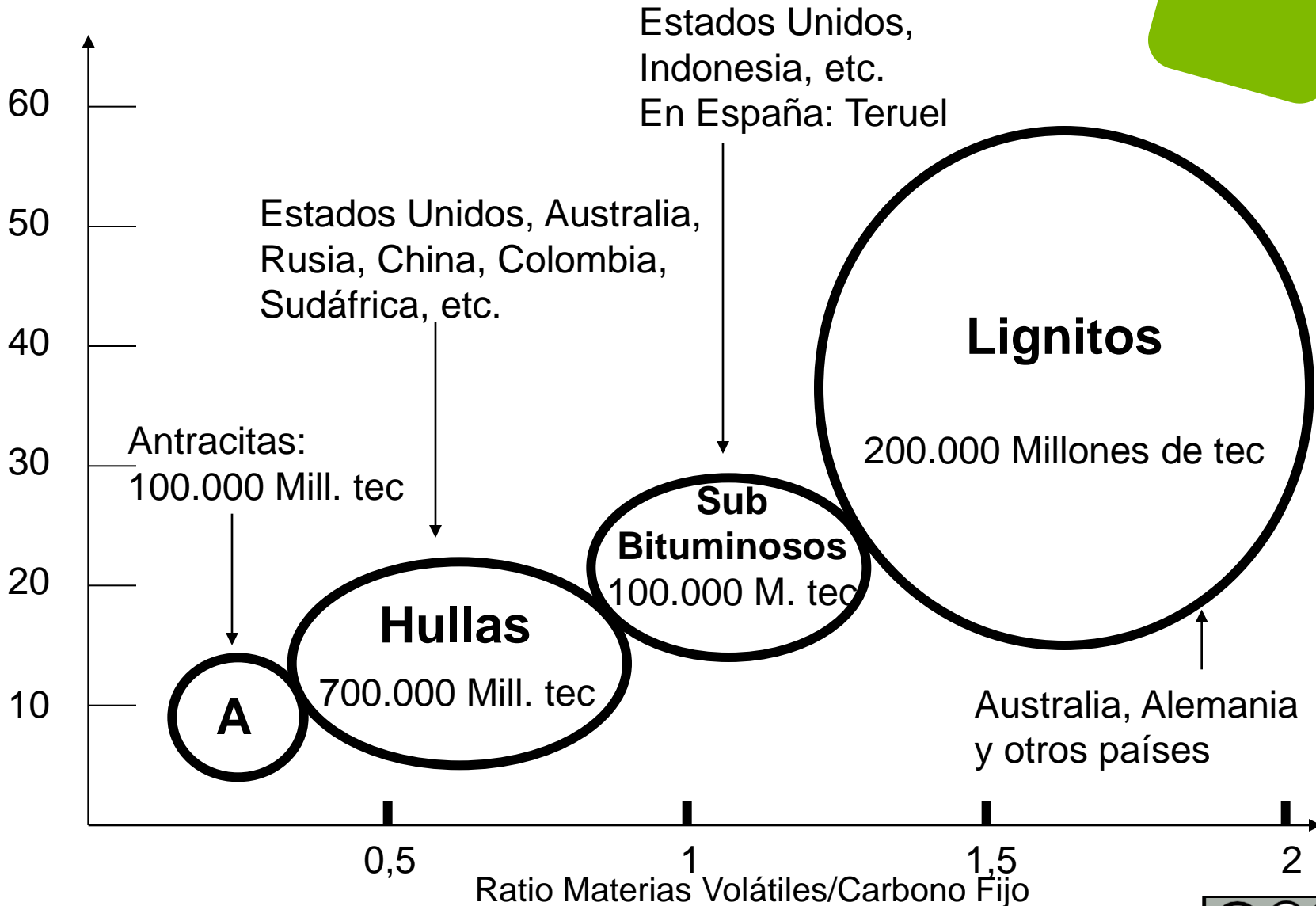




# EL CARBÓN ES UN COMBUSTIBLE FÓSIL HETEROGÉNEO:

- Los yacimientos son de diverso tipo, superficiales o profundos
  - Implican aplicar tecnologías mineras muy distintas
- La minería española está en proceso de finalización
  - Sólo quedan reservas apreciables en Teruel y poco más
- El mercado internacional del carbón supone la décima parte
  - Pero se supone que crecerá bastante en el futuro
- Hay diferentes tipos de carbones: antracita a lignitos
  - Su utilización requiere procesos diferenciados

Humedad total %



# LA GENERACIÓN CON CARBÓN ES PROCESO CLÁSICO:

- Evoluciona a lo largo de casi un siglo: potencia y rendimiento
  - Grupos de 600 MW, rendimiento 38% sobre PCI
- Inversión elevada.- Necesidad de operar muchas horas al año
  - Bajada a mínimo técnico.- 30% de potencia nominal
    - Fomentaron el bombeo hidráulico en España
- En la actualidad en España hay 10.000 MW de potencia
  - Proviene del retorno al carbón finales de 1970
- Dos tercios del carbón consumido es ya de importación

# CENTRAL TÉRMICA CONVENCIONAL DE CARBÓN

1 Parque de carbón y cinta transportadora

2 Tolva

3 Molino

4 Caldera

5 Cenicero

6 Sobrecalentador

7 Recalentador

8 Economizador

9 Calentador de aire

10 Precipitador

11 Desulfuración

12 Chimenea

13 Turbina de alta presión

14 Turbina de media presión

15 Turbina de baja presión

16 Condensador

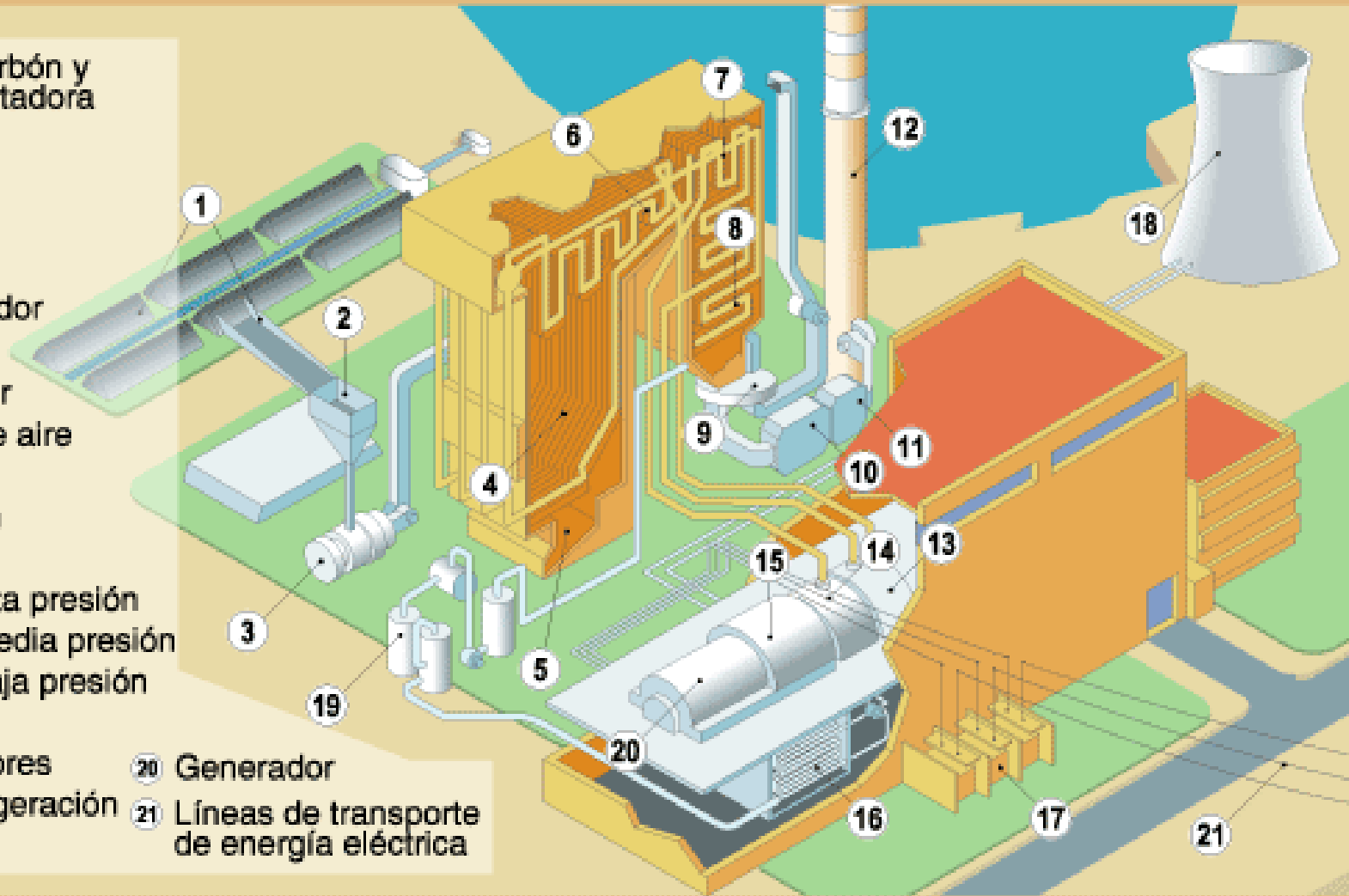
17 Transformadores

18 Torre de refrigeración

19 Calentadores

20 Generador

21 Líneas de transporte de energía eléctrica







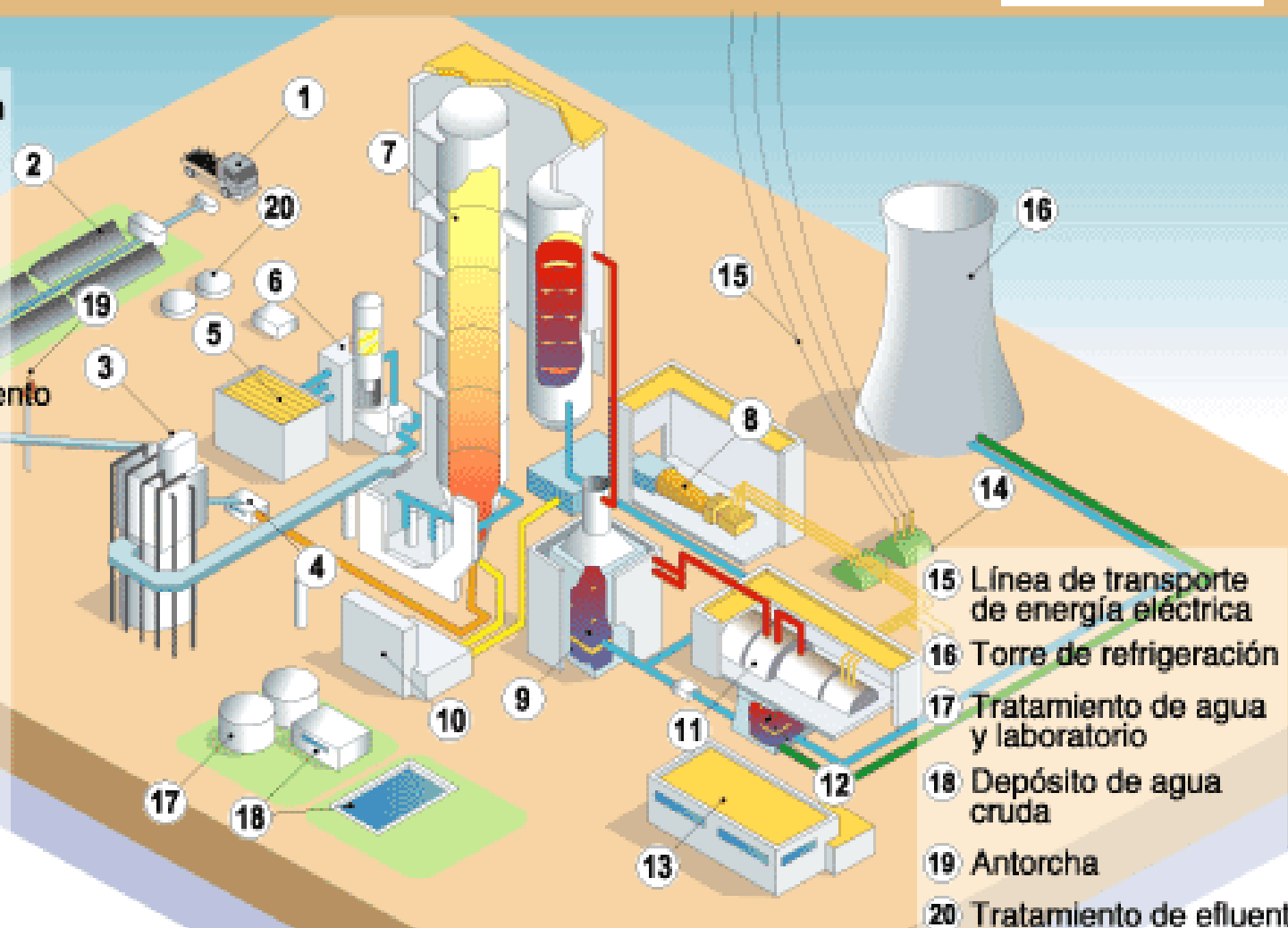
**Mina y central térmica de As Pontes.- 4 x 350 MW.- Febrero de 2008**

# AVANCE DE LAS NORMATIVAS AMBIENTALES EUROPEAS:

- Las lluvias ácidas fueron un preocupación en la década de 1980
  - En algunos países sistemas de lavado de gases.- SO<sub>2</sub>
- En paralelo desarrollo de “Tecnologías de Uso Limpio” (combustión en lecho fluido, captura de CO<sub>2</sub>, gasificación)
- En 2008 “Normativa de Grandes Instalaciones de Combustión”
  - En España supone instalación de sistemas de lavado
    - Se clausurarán unos 2.000 MW de potencia

# CENTRAL DE GASIFICACIÓN INTEGRADA CON CICLO COMBINADO

- 1 Alimentación de carbón
- 2 Parque de carbón
- 3 Preparación de carbón
- 4 Escorias
- 5 Compresores de la planta de aire
- 6 Unidad de fraccionamiento de aire
- 7 Gasificador
- 8 Turbina de gas
- 9 Caldera de recuperación
- 10 Desulfuración y recuperación de azufre
- 11 Turbina de vapor
- 12 Condensador
- 13 Edificio de control
- 14 Parque de alta tensión



- 15 Línea de transporte de energía eléctrica
- 16 Torre de refrigeración
- 17 Tratamiento de agua y laboratorio
- 18 Depósito de agua cruda
- 19 Antorcha
- 20 Tratamiento de efluentes

# Central GICC de Elcogas



# NORMATIVA DE GRANDES INSTALACIONES DE COMBUSTIÓN:

- Techos totales aplicables a España:
  - Óxidos de azufre: 746.000 t/a
  - Óxidos de nitrógeno: 847.000 t/a
- Límites de emisión individual de óxidos de azufre:
  - Centrales existentes: 400 mg/Nm<sup>3</sup>
  - Centrales nuevas: 200 mg/Nm<sup>3</sup>
- Límites de emisión individual de óxidos de nitrógeno:
  - Centrales existentes: 650 mg/Nm<sup>3</sup>
    - Años 2012 a 2016..... 500 mg/Nm<sup>3</sup>
    - Desde el año 2016..... 200 mg/Nm<sup>3</sup>

(Si el carbón tiene menos de 10% de MV... 1.200 mg/Nm<sup>3</sup>)
  - Centrales nuevas: 200 mg/Nm<sup>3</sup>

# EL RETO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS CON CARBÓN:



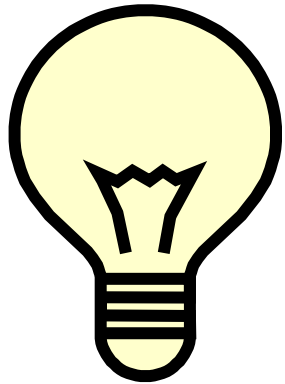
- Se está volviendo a la generación de electricidad con carbón
  - Cuenca del Pacífico.- Chile 3.400 MW, El Salvador
  - En algunos casos lecho fluido.- Río Turbio (Argentina)
- Nos debiéramos plantear opciones más eficientes y limpias
  - Gasificación y ciclo combinado.- ELCOGAS, Puertollano
  - Ciclos ultra súper críticos más sistemas de lavado
    - Quizás un grupo de 800 MW en Aboño; HC/EDP
  - Rendimiento 46%. - Emisión de CO<sub>2</sub> unos 750 g/kWh



# CAPTURA Y CONFINAMIENTO DE CO<sub>2</sub>.

## INTERROGANTES:

- Los gases de combustión tienen una quinta parte de CO<sub>2</sub>
  - Precisan la concentración o separación de este gas
    - Salvo que se vaya a diseños de oxi combustión
- El confinamiento sólo es factible en ciertos emplazamientos
  - Roca almacén de hidrocarburos. Otras rocas porosas
  - Acuíferos profundos preferentemente salinos
  - En las simas marinas no parece recomendable
- España, 2/3 de las emisiones serán de los ciclos combinados



**Necesitamos electricidad**



- ¿Cuáles pueden ser los consumos adecuados de electricidad para los diferentes usos?
- ¿Qué niveles de seguridad demanda la sociedad al suministro eléctrico?
- ¿Cómo se pueden conseguir esos objetivos?

**DIÁLOGO RESPECTO AL CARBÓN**



- ¿Cuál es la potencia necesaria en generación con carbón?
- ¿Qué tiempo se supone deberán continuar operativas las centrales de carbón?
- ¿Dónde deberán ubicarse?
- ¿Cómo valoramos la generación de empleo para su construcción?



- ¿Cuál es el desarrollo de Energías Renovable que podemos y queremos que se realice?
- No estamos todavía en condiciones de llegar al 100% de renovables en sistema eléctrico





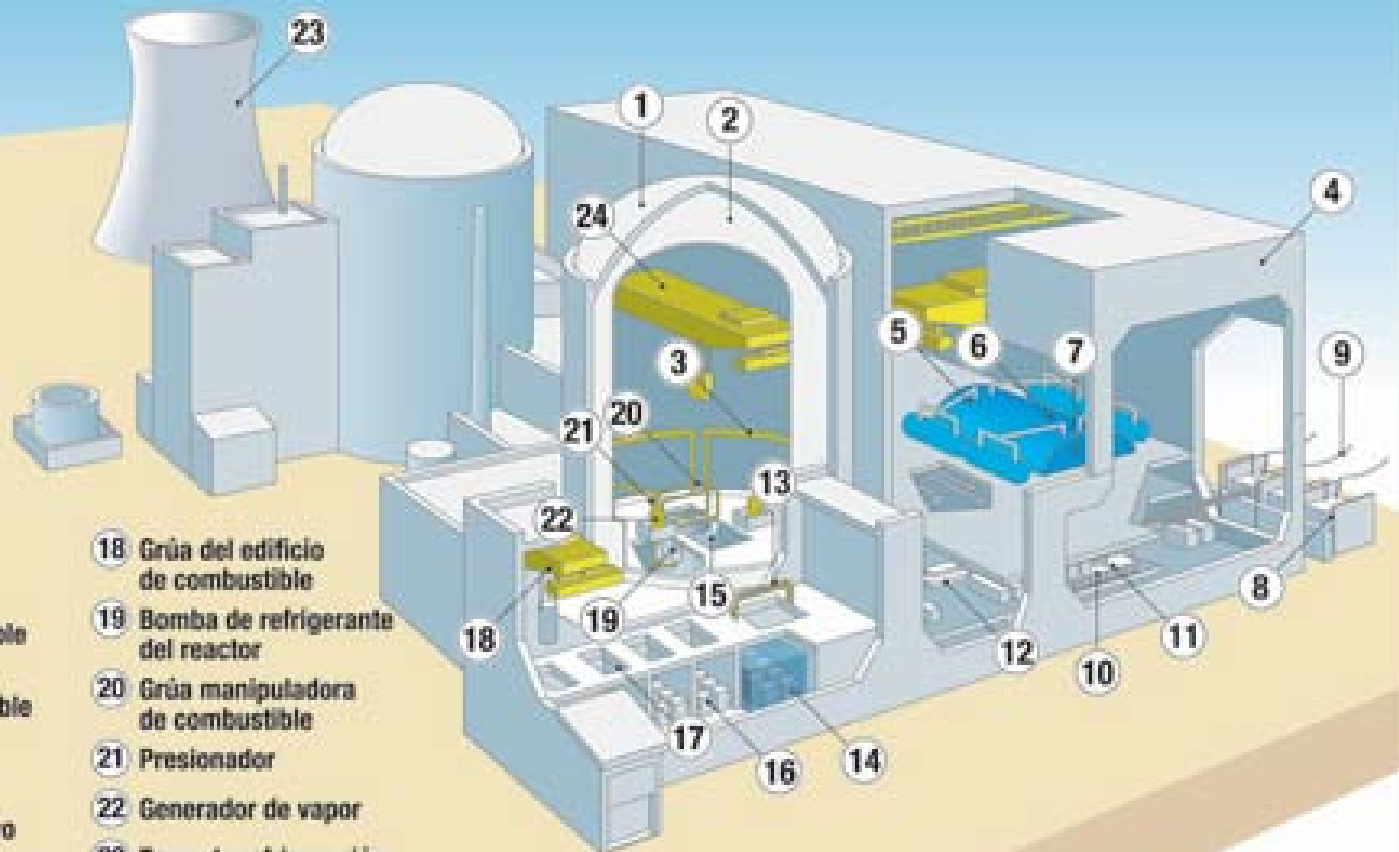
# NO TENEMOS AUN TECNOLOGÍA NUCLEAR PARA TODOS:

- Los diseños actuales caminan paralelos al posible uso militar
  - Utilizamos sólo el 4% del uranio. Escasez de recurso
    - ¿Francia busca el uranio del fosfato marroquí?
  - Sólo podemos multiplicar por 3 el número de reactores
- ¿Por qué no vamos a reactores rápidos con uranio natural?
  - O mejor con el torio que hay mucho en el agua del mar
    - Sería una cuarta generación cara y quizás segura
- La fusión está muy lejos. Más allá del 2050. Elevada inversión

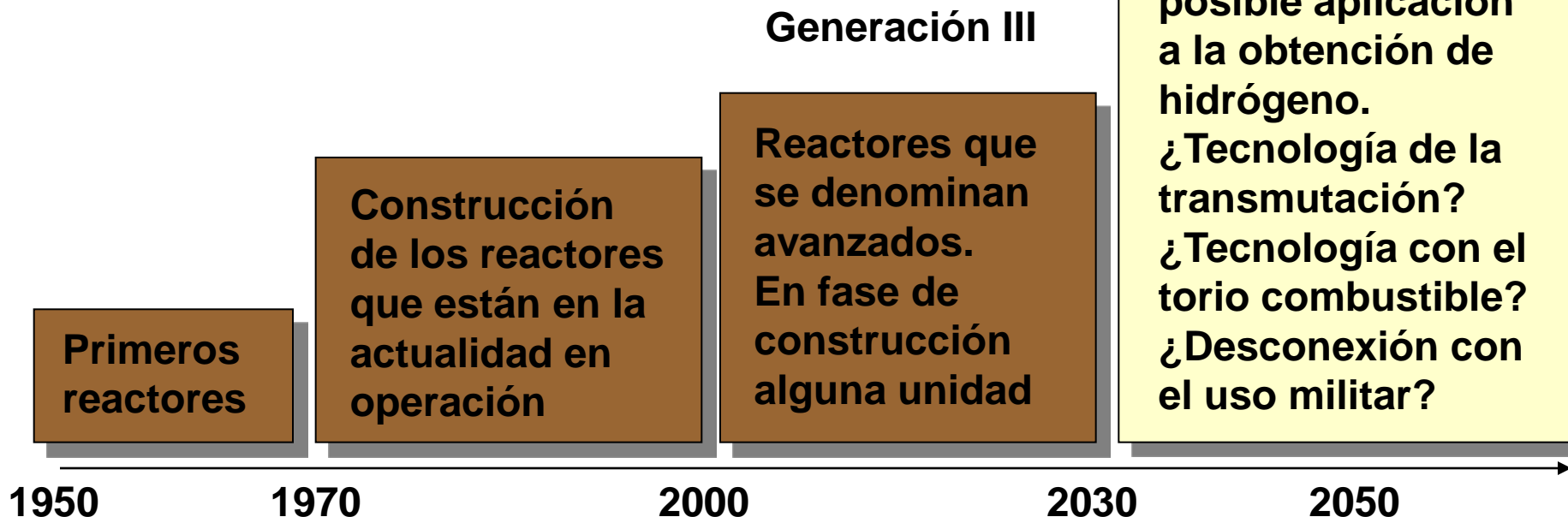
# CENTRAL NUCLEAR

- 1 Edificio de contención
- 2 Recubrimiento de acero
- 3 Tuberías de vapor principal
- 4 Edificio de turbinas
- 5 Turbina de alta presión
- 6 Turbina de baja presión
- 7 Generador eléctrico
- 8 Transformadores
- 9 Líneas de transporte de energía eléctrica
- 10 Condensador
- 11 Agua de refrigeración
- 12 Sala de control
- 13 Grúa de manejo del combustible gastado
- 14 Almacenamiento de combustible gastado
- 15 Reactor
- 16 Almacén de combustible nuevo
- 17 Foso de carga de contenedores de combustible gastado

- 18 Grúa del edificio de combustible
- 19 Bomba de refrigerante del reactor
- 20 Grúa manipuladora de combustible
- 21 Presionador
- 22 Generador de vapor
- 23 Torre de refrigeración
- 24 Grúa polar del edificio



- En la actualidad hay 439 reactores en funcionamiento, más 66 en construcción en 15 países, alguno de 3ª generación, y 157 programados adicionalmente.
- La producción actual de electricidad con energía nuclear es del orden de 2.700 TWh/a, supone el 14% de la total mundial.
- Al año 2020, esa producción podría ser como máximo de 3.600 TWh/a, y su participación en el total mundial de la generación de algo menos de un 15%.
- El objetivo de generación para el año 2035 sería de 4.500 TWh/a.



**Sistemas futuros:**  
 Reactores rápidos, reproductores.  
 Reactores de muy alta temperatura de posible aplicación a la obtención de hidrógeno.  
 ¿Tecnología de la transmutación?  
 ¿Tecnología con el torio combustible?  
 ¿Desconexión con el uso militar?

## INVERSIONES Y CONSUMOS ESPECÍFICOS:

- Ciclos combinados ..... 700 €/kW  
+ Algo menos de 2 termias por kWh, (1,8)
- Carbón con nuevas tecnologías ..... 2.000 €/kW  
+ Algo más de 2 termias por kWh, (2,3)
- Centrales nucleares de nuevo diseño ... 4.000 €/kW  
+ Combustible.- Algo menos de 1 cts €/kWh

---

# Capítulo 5

Electricidad a partir de energías renovables

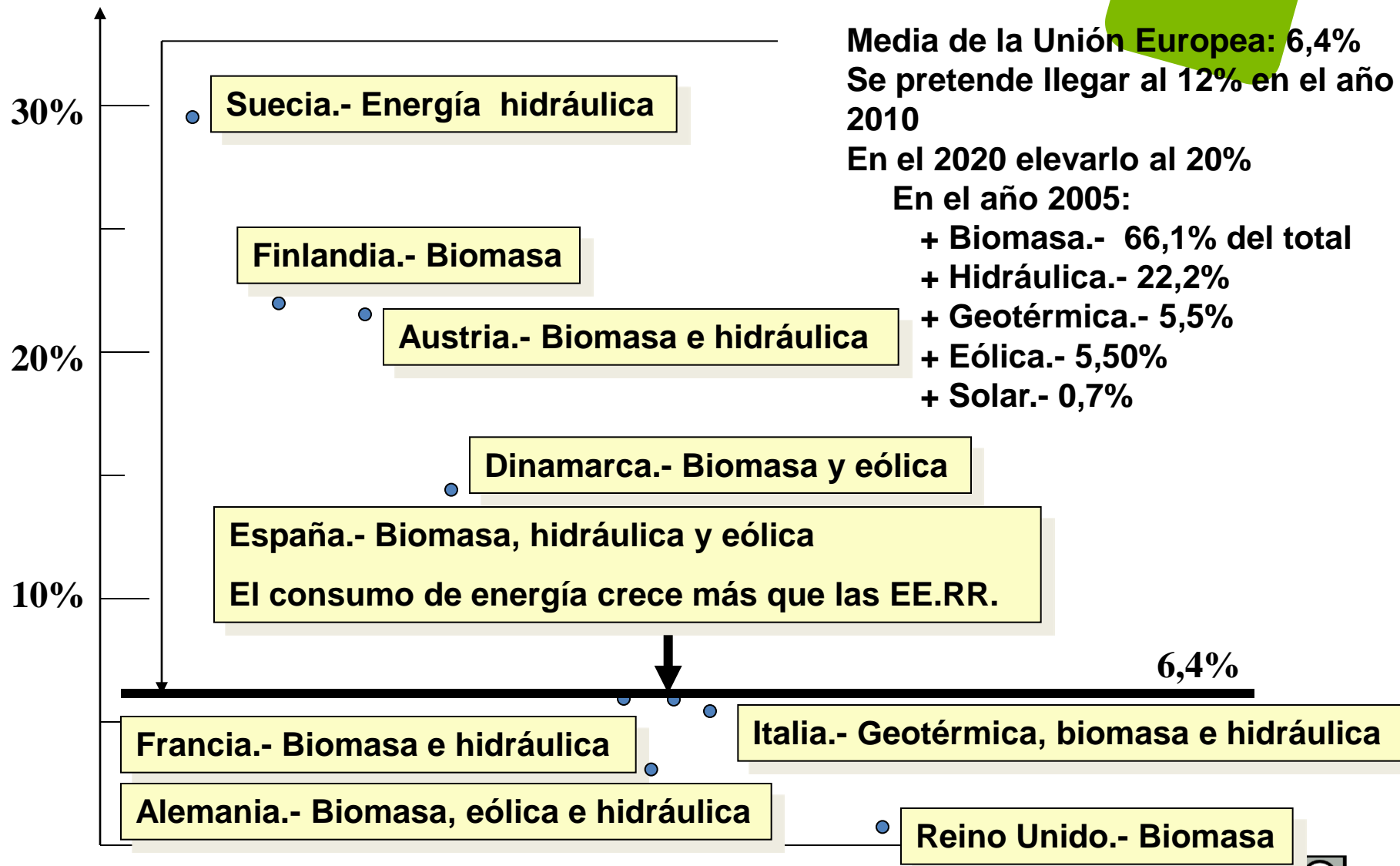
# ENERGÍAS RENOVABLES, MÁS QUE UN COMPROMISO:



- Alargamiento de la vida del gas natural. Menos emisiones CO2
- Nos hemos comprometido a un 20% en el año 2020
  - Supone más del 40% de la generación eléctrica
- En España partimos de un 20% de generación renovable
  - 10% de origen hidráulico.- No crecerá más
  - 10% de energía eólica.- Multiplicar por dos o tres
    - Repotenciación más eólica en el mar
  - Necesidad de más bombeo hidráulico.- 7.000 MW



# Participación de las Energías Renovables en el abastecimiento de Energía Primaria



# LA ENERGÍA EÓLICA HA SIDO UNA VIEJA ASPIRACIÓN:

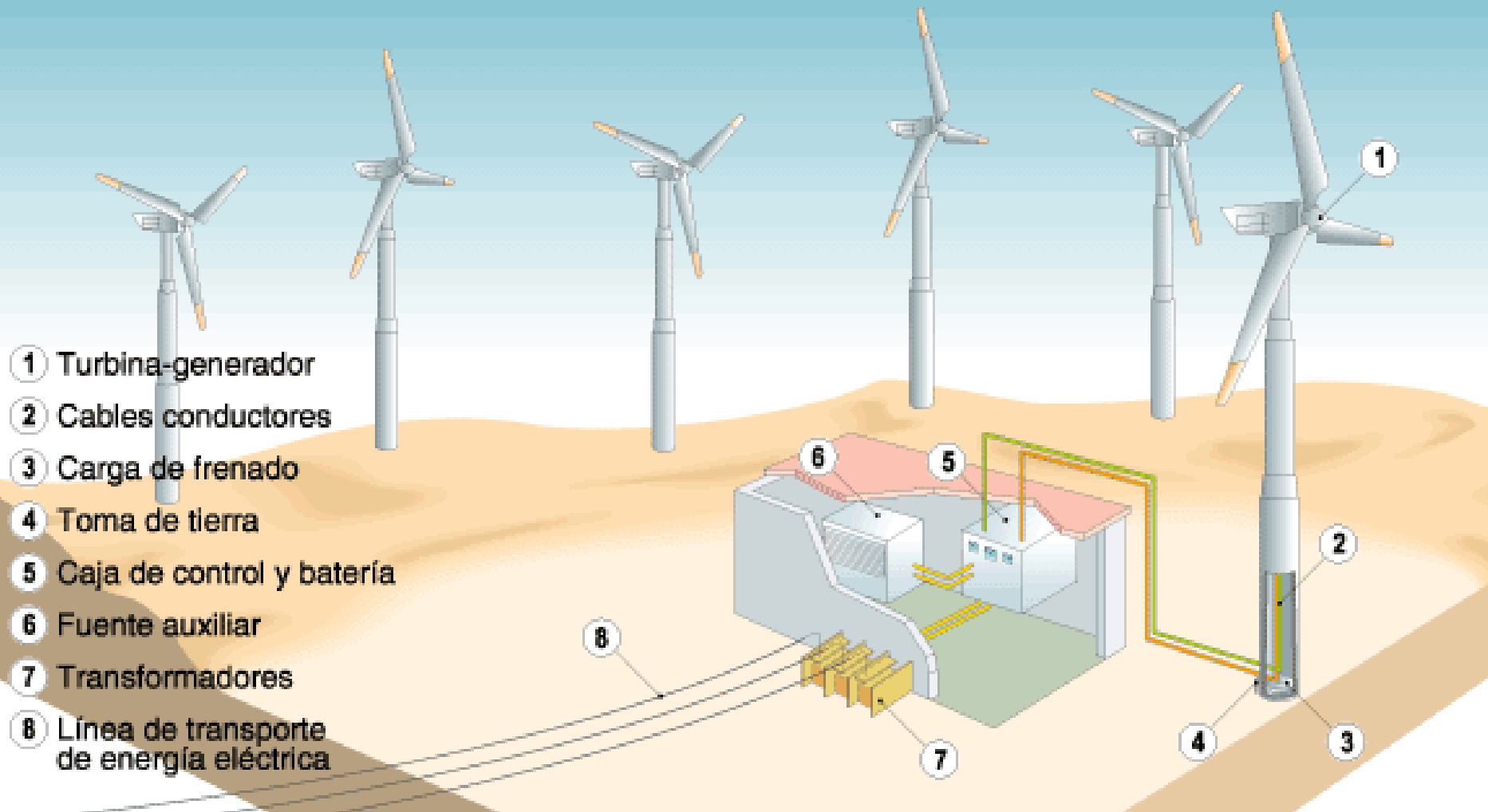
- Los molinos de grano o de bombeo de agua vienen de antiguo
  - No está de más conocer algo de ellos
- A principios del siglo XX los daneses hicieron en primer intento
  - Los franceses después de la Segunda Guerra Mundial
- El desarrollo actual arranca en 1980.- Crisis del petróleo
  - Estados Unidos, Dinamarca y llega a España
- Hemos avanzado bastantes. Podemos seguir haciéndolo
  - Debemos estudiar el recurso eólico





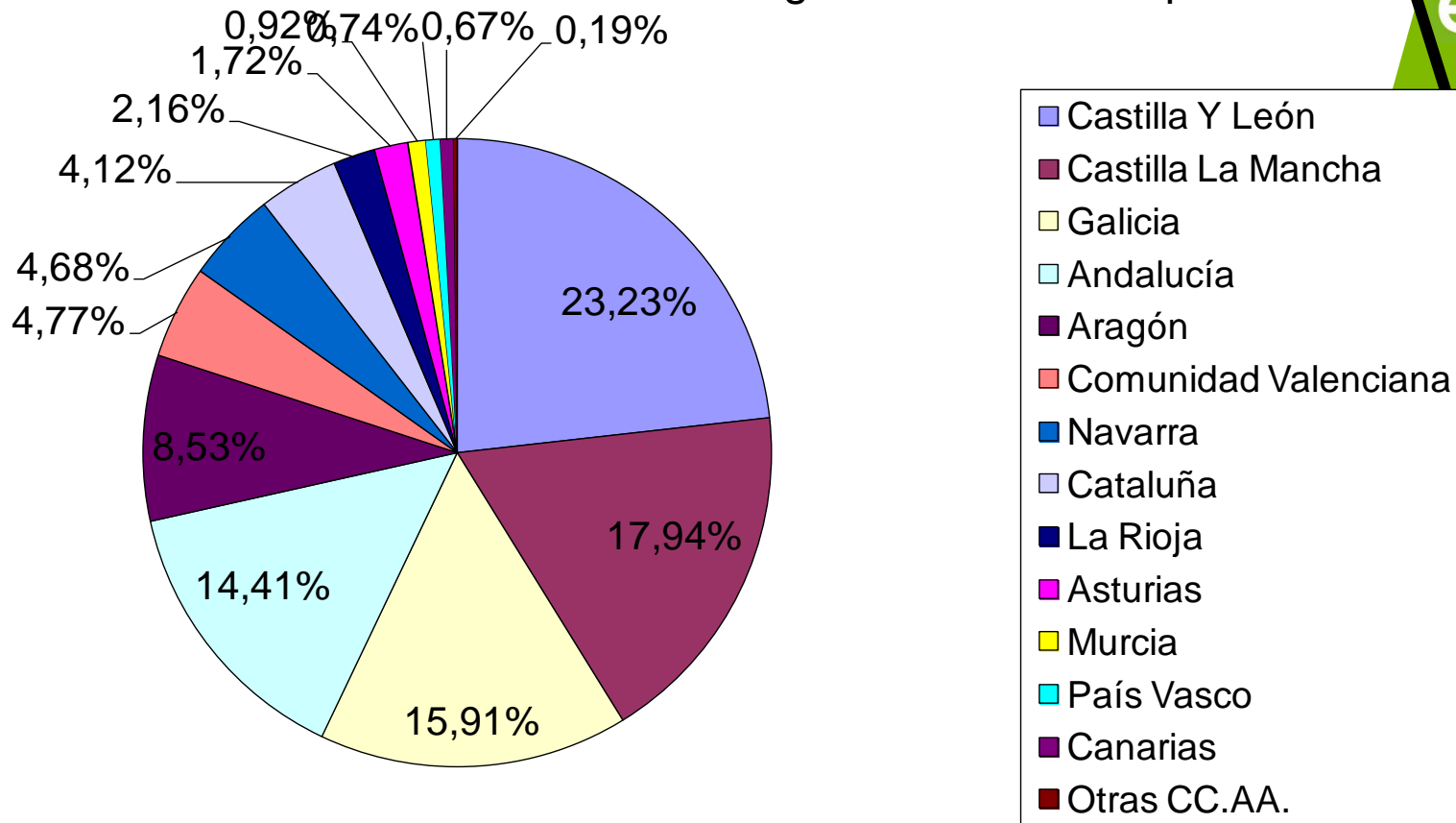
**Catoira, Pontevedra.- Fotografía proporcionada por SOTAVENTO**

# CENTRAL EÓLICA



- 1 Turbina-generador
- 2 Cables conductores
- 3 Carga de frenado
- 4 Toma de tierra
- 5 Caja de control y batería
- 6 Fuente auxiliar
- 7 Transformadores
- 8 Línea de transporte de energía eléctrica

# La Energía Eólica en el España 2010



## En España, a finales de 2010:

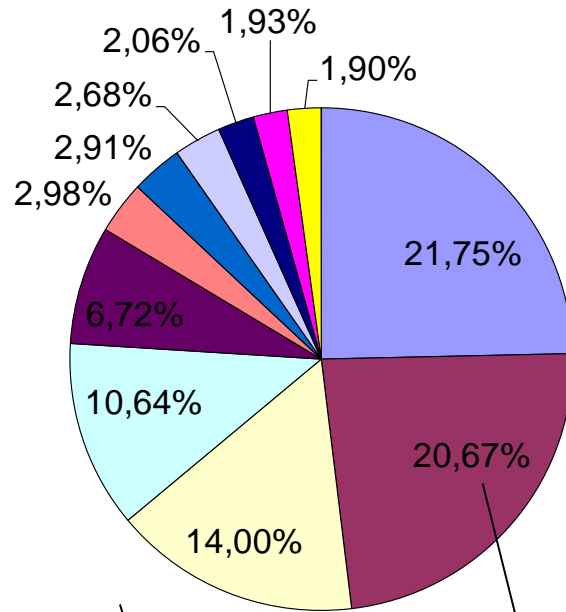
- Potencia eólica instalada: 20.676 MW, +10% del total mundial
- Algo más del 16% de la generación peninsular española de electricidad
- El 72% de la generación de renovables (43.021GWh)
- 890 parques eólicos.- Potencia media 25 MW
- Tamaño medio del aerogenerador en 2010: 1.900 kW

Fuente: Anuario AEE 2011

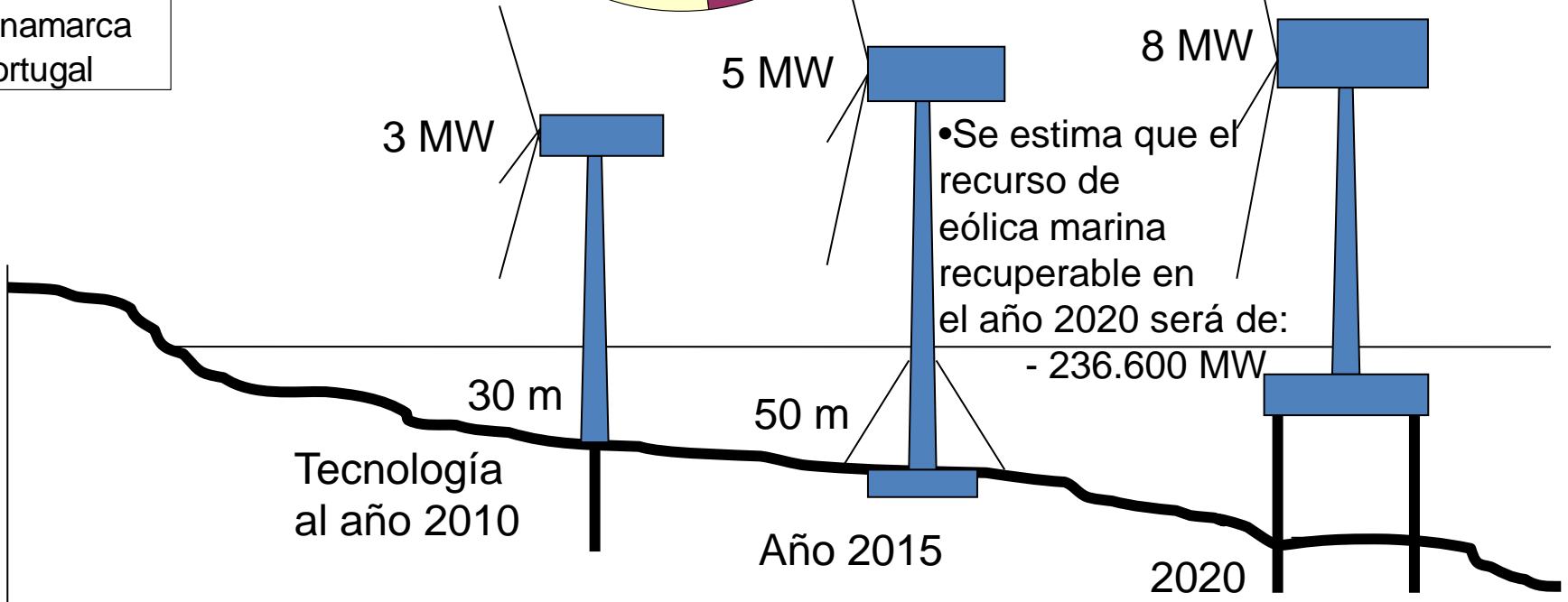
# La Energía Eólica en el mundo 2010



- China
- EEUU
- Alemania
- España
- India
- Italia
- Francia
- Reino Unido
- Canadá
- Dinamarca
- Portugal



Los 11 mayores países tienen más del 88% de la potencia total instalada: 194.390MW



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

# PUEDE HABER RESTRICCIONES SOCIALES A LA EÓLICA:

- Aparece la cuestión de la ecología del paisaje
  - Importante para sectores sociales significativos
    - Extremadura un caso a estudiar
- Rechazo fuerte al desarrollo de la eólica marina.- Barbate
- De otro lado está el análisis económico del negocio
  - Sistema de primas que aporta elevada rentabilidad
  - Primero empresas pequeñas más aceptadas
    - Luego pasamos a las grandes clásicas



## Parque eólico frente a Portosin, ría de Muros y Noia, Coruña.- Agosto de 2007

Máster en Energías Renovables y Mercado Energético/ José M<sup>a</sup> Paz

[www.eoi.es](http://www.eoi.es)

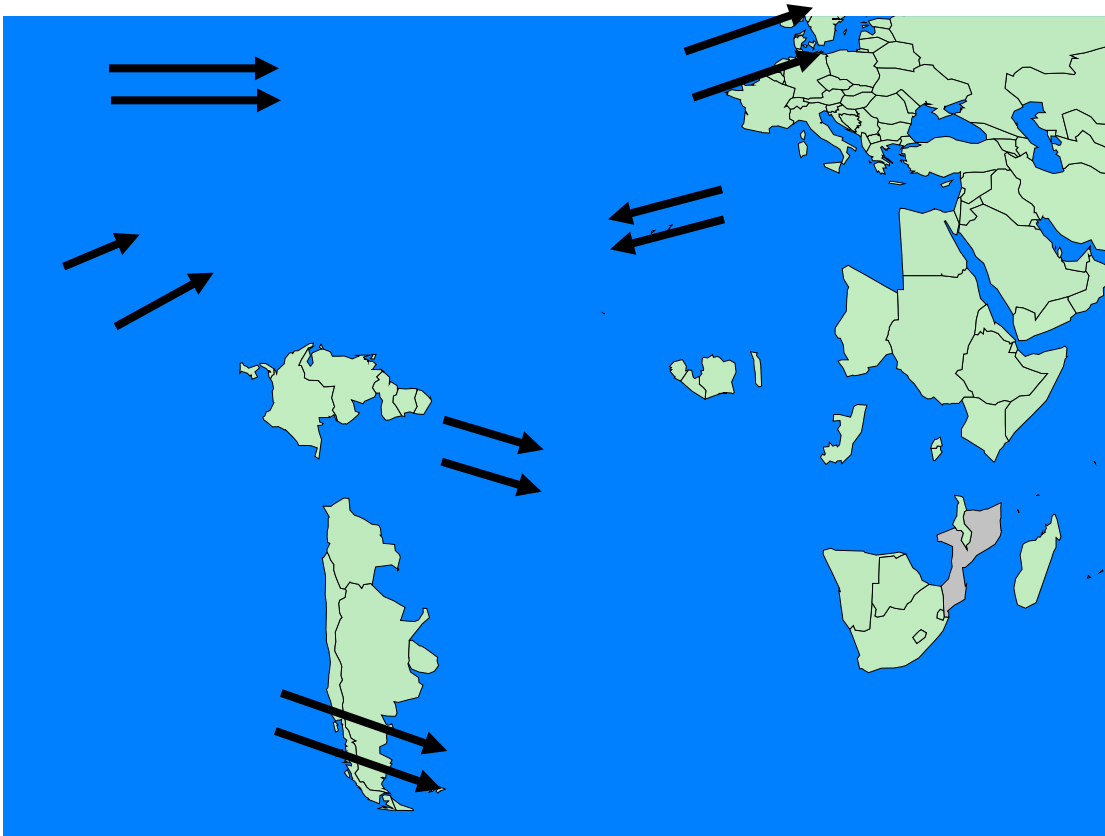




# LA RESPUESTA ESTÁ EN EL VIENTO. AL MENOS ALGUNA:

- El potencial eólico es bastante mayor que el consumo energético
  - Pero su desarrollo no es fácil. Infraestructuras
    - Elevadas inversiones en terceros países
- Se avanzará en generación eléctrica para usos convencionales
  - Quizás más adelante para tracción en automoción
    - En el año 2030 quizás se llegue al 10% mundial
  - Pero no se hace todo lo que se puede
- El análisis económico es optimista hacia el futuro a medio plazo





## Áreas de buenos recursos eólicos en el mundo.

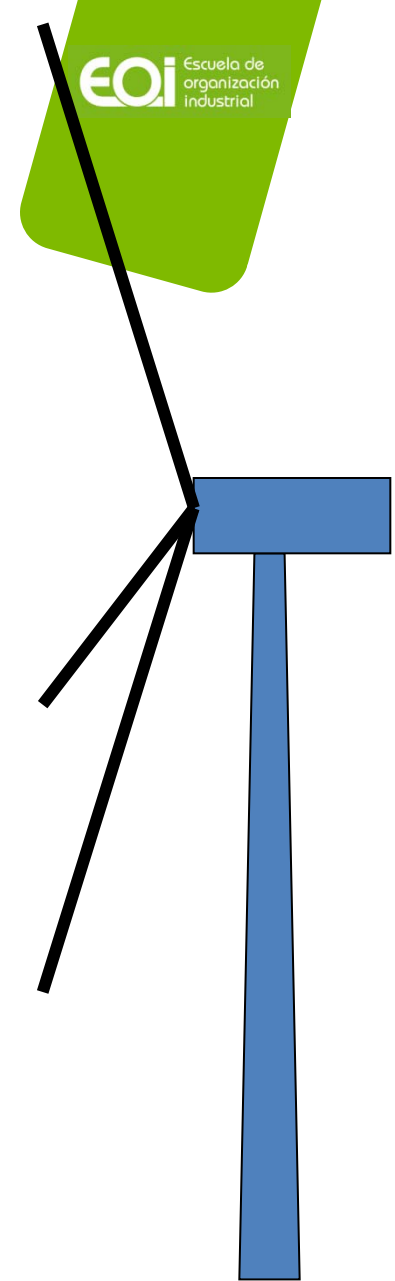
- Hay otras varias, y además es preciso tener en cuenta los efectos climáticos regionales o locales para valorar otros campos eólicos.

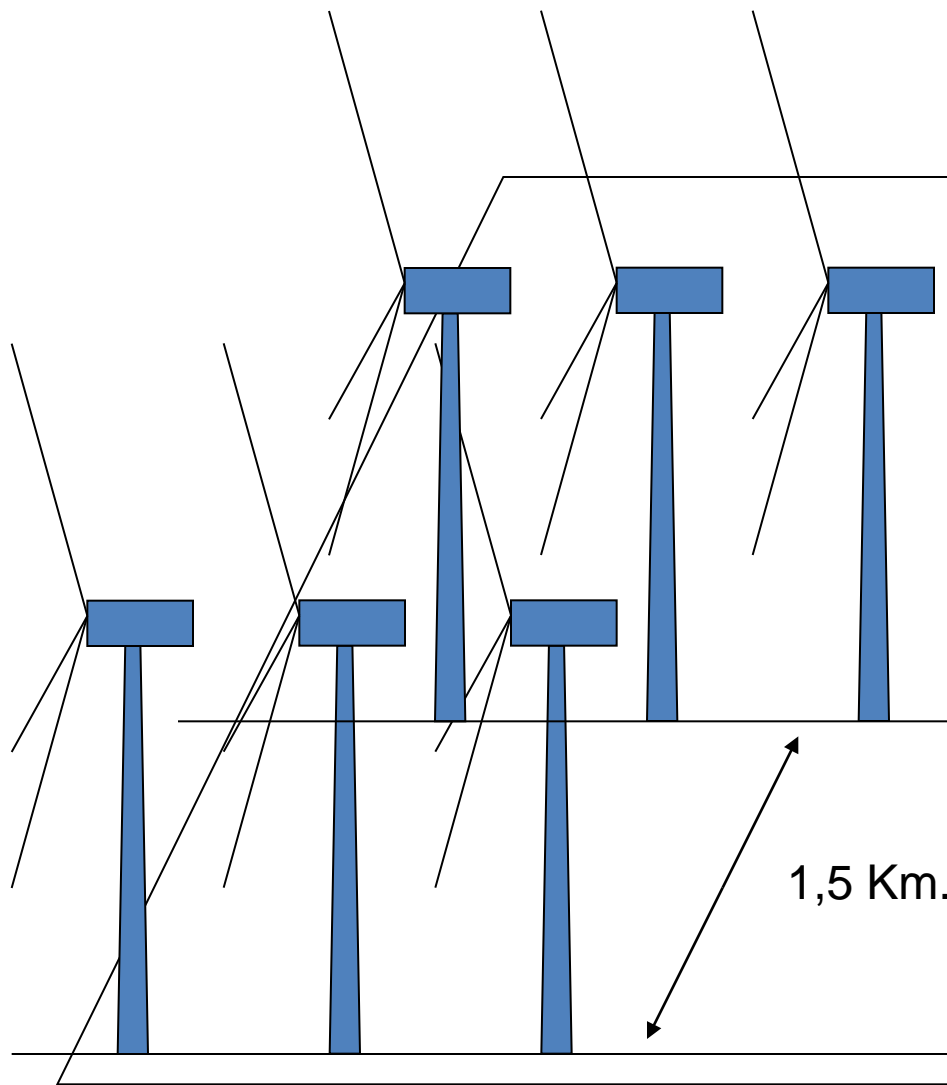
- Se estima que utilizando el potencial eólico mundial es posible generar 200.000 TWh/a.
- Esto podría atender la actual demanda de electricidad, 19.000 TWh, más el incremento, y producir el hidrógeno necesario para su uso futuro en automoción, o alimentar los vehículos de tracción eléctrica.



## Expectativas al año 2030

Potencia instalada en el mundo .....	1.000.000 MW
En Europa .....	300.000 MW
En España .....	45.000 MW





## EÓLICA DEL CHOCÓN:

•En una meseta próxima a esta presa, cuya potencia hidráulica es de 1.200 MW. Con unas 3.000 equivalentes a plena carga.

•Parque eólico de:

- 1.000 aerogeneradores
- 3.000 MW
- 3.500 horas equivalentes
- Inversión.- 3.000 Mill Euros.
- Generación.- 10.000 GWh

1,5 Km.

15 Km

250 m

25 Km

Generación de la décima parte del consumo eléctrico en Argentina

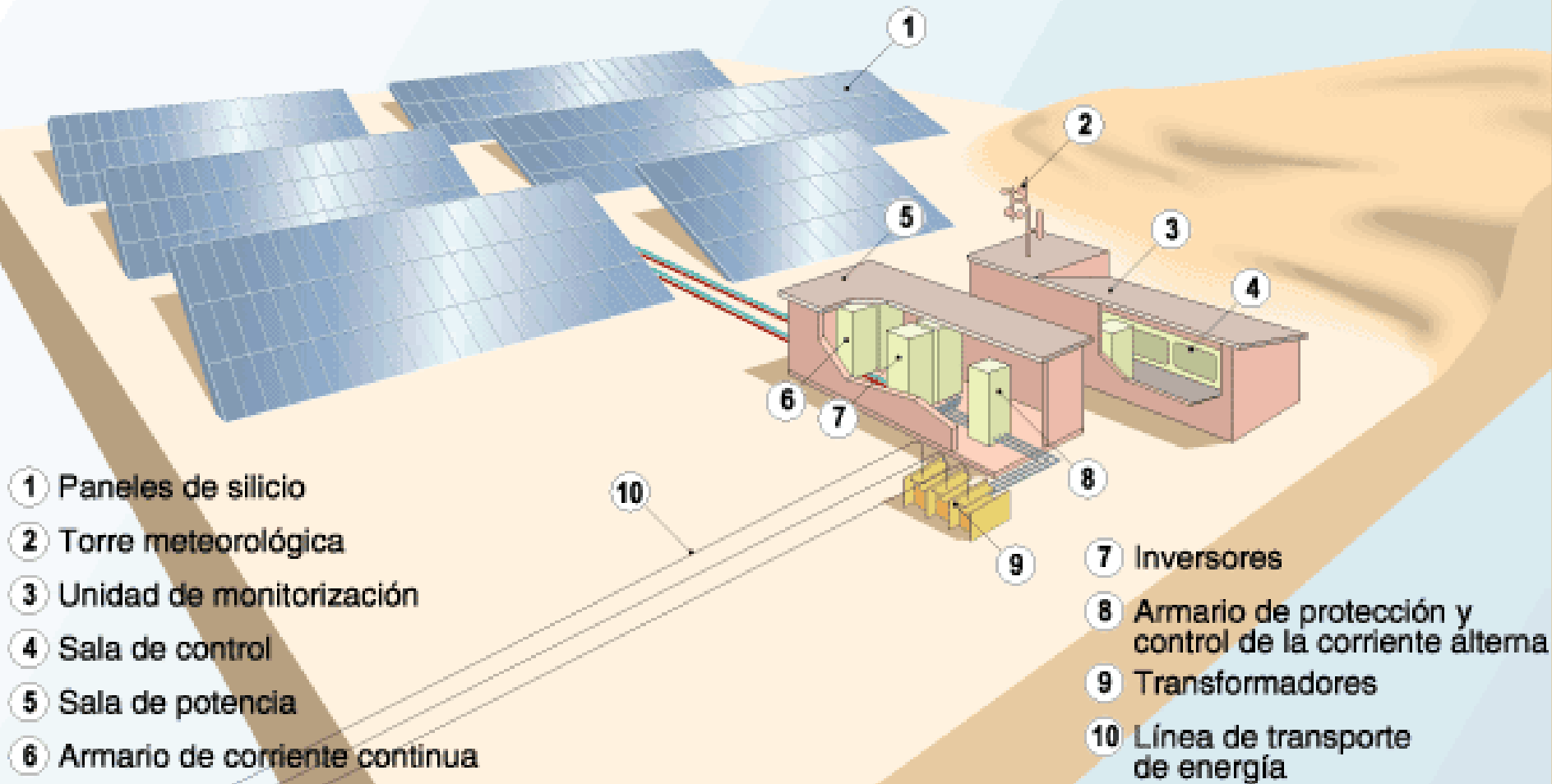
## ENERGÍA EÓLICA:

- Inversión ..... 1.000 a 2.000 €/kW
  - + Mayor demanda que oferta industrial
  - Vamos hacia grandes suministradores
- Coste de generación.- Depende del interés del dinero
  - + Del número de horas de viento.- 2.000 a 4000
  - + Se sitúa entre: 4 y 8 cts de €/kWh

# LA ENERGÍA SOLAR DESPEGARÁ EN UN PAR DE DÉCADAS:

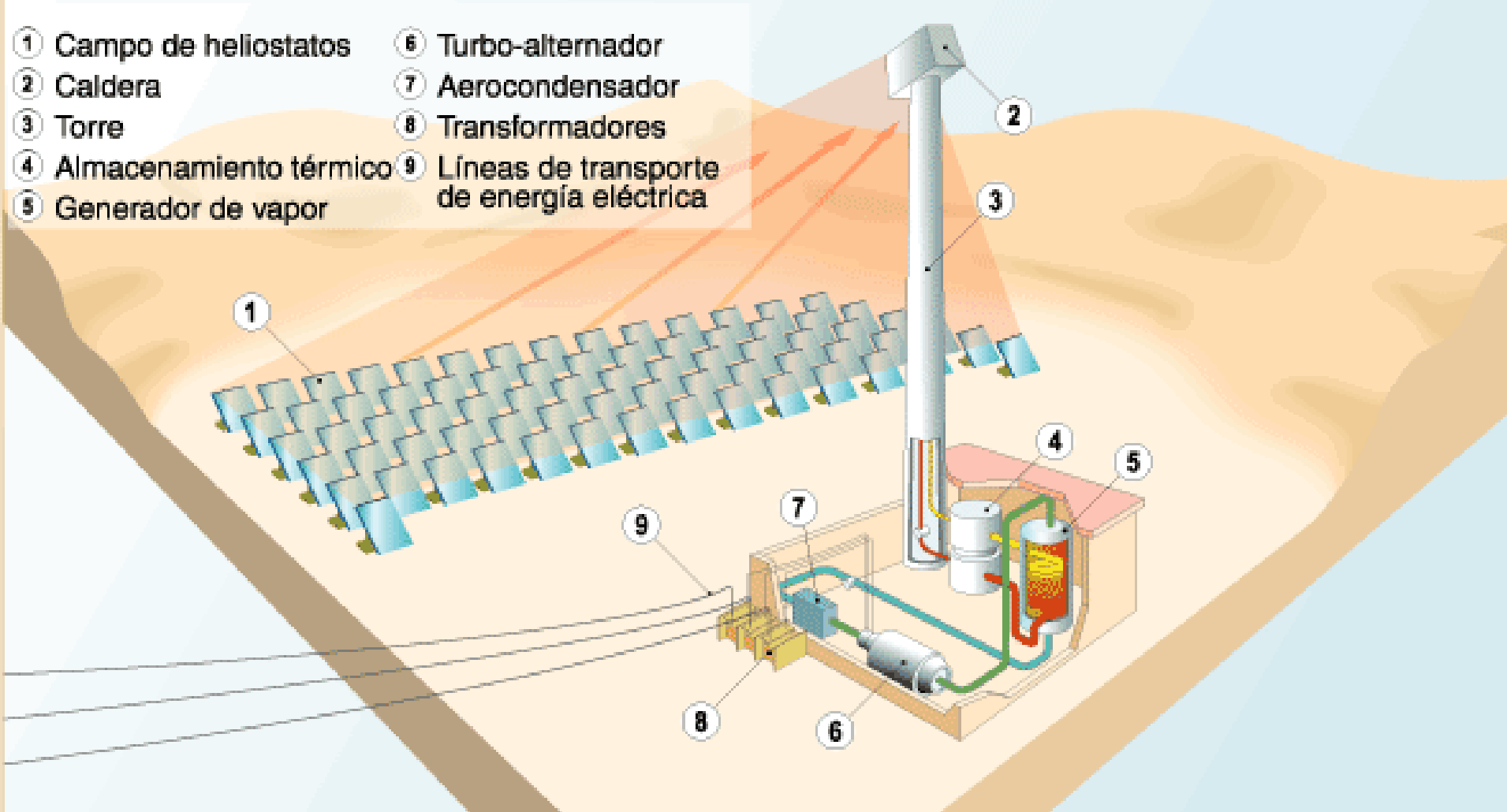
- Se construirán plantas de demostración y comerciales
  - En España está creciendo la fotovoltaica
    - De instalaciones de 5 kW a plantas de varios MW
    - Discusión sobre valor de prima y potencia límite
  - Las plantas termosolares aparecen con menores costes
    - Cuentan con menos apoyo social
- Se esperan mejoras en la tecnología. Mayor rendimiento
  - Quizás haya una ruptura tecnológica en fotovoltaica

# CENTRAL FOTOVOLTAICA



# CENTRAL SOLAR TÉRMICA

- ① Campo de heliostatos
- ② Caldera
- ③ Torre
- ④ Almacenamiento térmico
- ⑤ Generador de vapor
- ⑥ Turbo-alternador
- ⑦ Aerocondensador
- ⑧ Transformadores
- ⑨ Líneas de transporte de energía eléctrica







## ELECTRICIDAD DE ORIGEN SOLAR:

- Recurso.- ...1.200 a 1.500 horas equivalentes al año  
+ Rendimiento actual.- Entre el 10 y el 20 %
- Fotovoltaica, Inversión ..... 6.000 €/kW  
+ Coste de generación ..... 60 cts €/kWh
- Solar térmica, Inversión ..... 2.500 €/kW  
+ Coste de generación ..... 25 cts €/kWh

# La energía solar en España en 2010

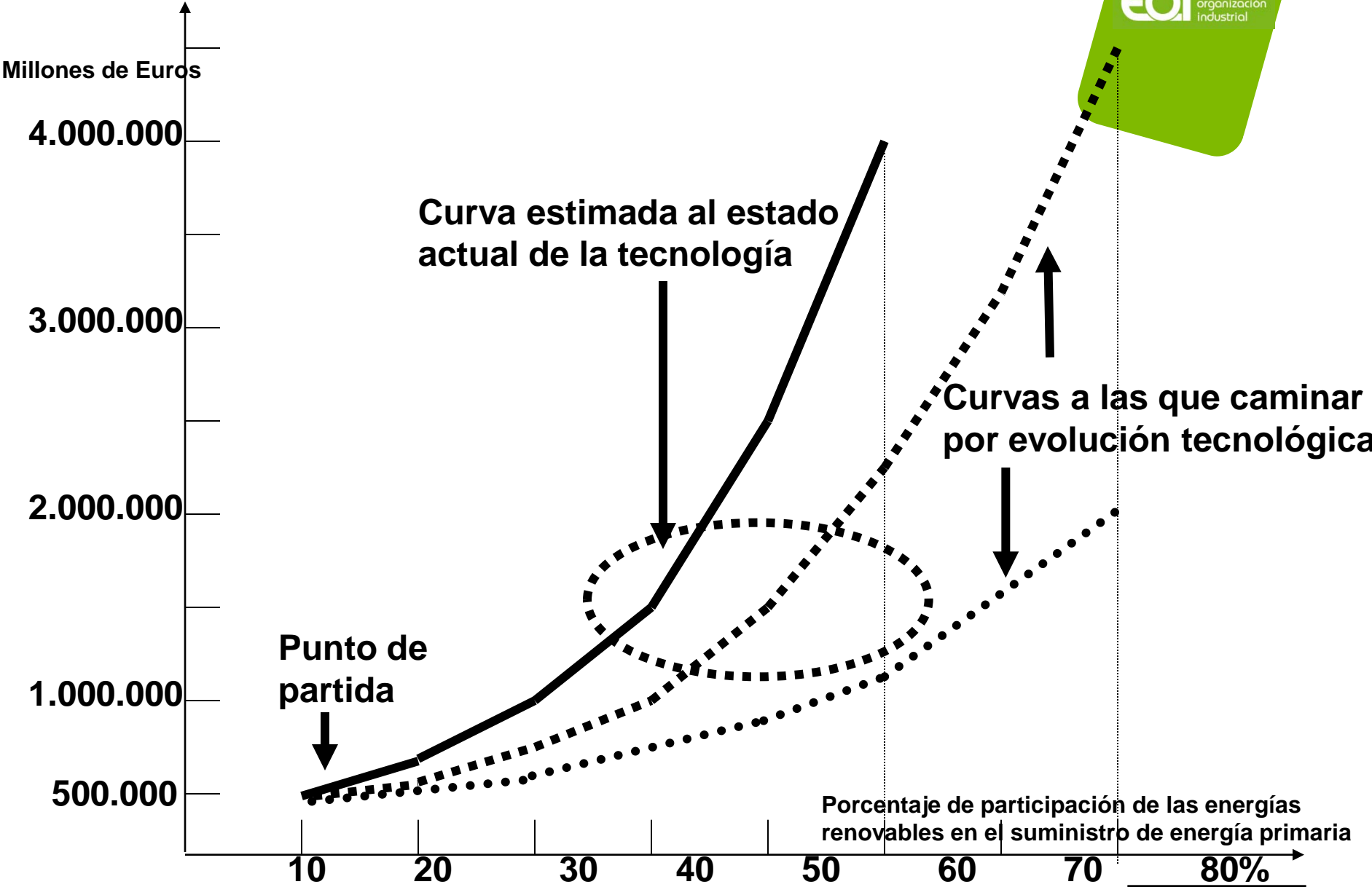
- La potencia instalada en energía solar en 2010 es de 4.325MW
  - 3.643MW de instalaciones fotovoltaicas, de los que 407MW entraron en servicio a lo largo del año
  - 682MW de instalaciones de energía solar térmica, de los que 400MW entraron en servicio a lo largo del año
- La producción realizada por estas instalaciones en 2010 es de 7.003GWh
  - 6.311GWh producidos con energía solar fotovoltaica
  - 692GWh producidos con energía solar térmica

# LAS ENERGÍAS RENOVABLES SON DE ALTA INVERSIÓN:

- La inversión en potencia fotovoltaica supone 10 veces la inversión que precisa la misma potencia en ciclo combinado
  - La solar sólo está disponible unas 1.500 horas anuales
- Con baja participación de las renovables la red las asume
  - En altas participaciones es preciso cambiar la red
    - Almacenamiento o potencia rodante en exceso
- La mayor presencia de generación eléctrica renovable aumenta la demanda de inversión de forma exponencial
  - Es un tema de reflexión crítica



# Inversión anual necesaria en el sistema eléctrico mundial



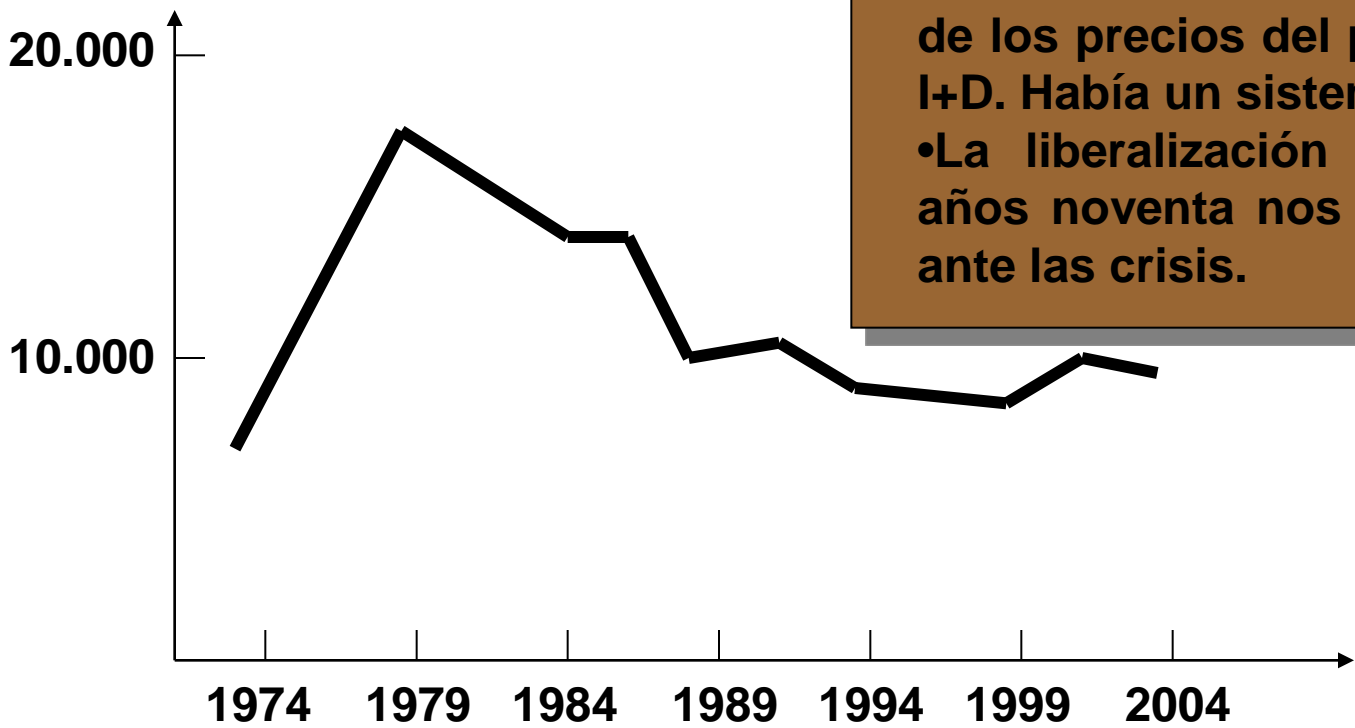
# PRECISAMOS INCREMENTAR EL NIVEL DE INVESTIGACIÓN:

- Estamos ante una crisis de disponibilidad de energía primaria
  - Debiéramos ir con premura hacia las renovables
    - También incrementar la eficiencia de utilización
- También estamos condicionados por la cuestión ambiental
  - Tendríamos que ir hacia tecnologías limpias
    - Socialmente han de tener amplia aceptación
- El mercado incentiva las inversiones poco intensivas en capital y que se recuperan antes con bajada en la dedicación de fondos de investigación si no se repercuten todos los costes.
  - ¿Cómo conseguiremos cambiar esa tendencia?



## •Gastos de I+D energético en los países más desarrollados

Millones de \$/a



- Los países que integran la Agencia Internacional de la Energía, IEA, dedicaron en el año 2004 algo menos de 10.000 millones de dólares a I+D.
- La energía nuclear supone algo más de un tercio del conjunto.
- Las energías renovables reciben una sexta parte del total.
- En la década de los setenta la crisis de los precios del petróleo fomentó el I+D. Había un sistema regulado.
- La liberalización energética de los años noventa nos deja sin respuesta ante las crisis.



---

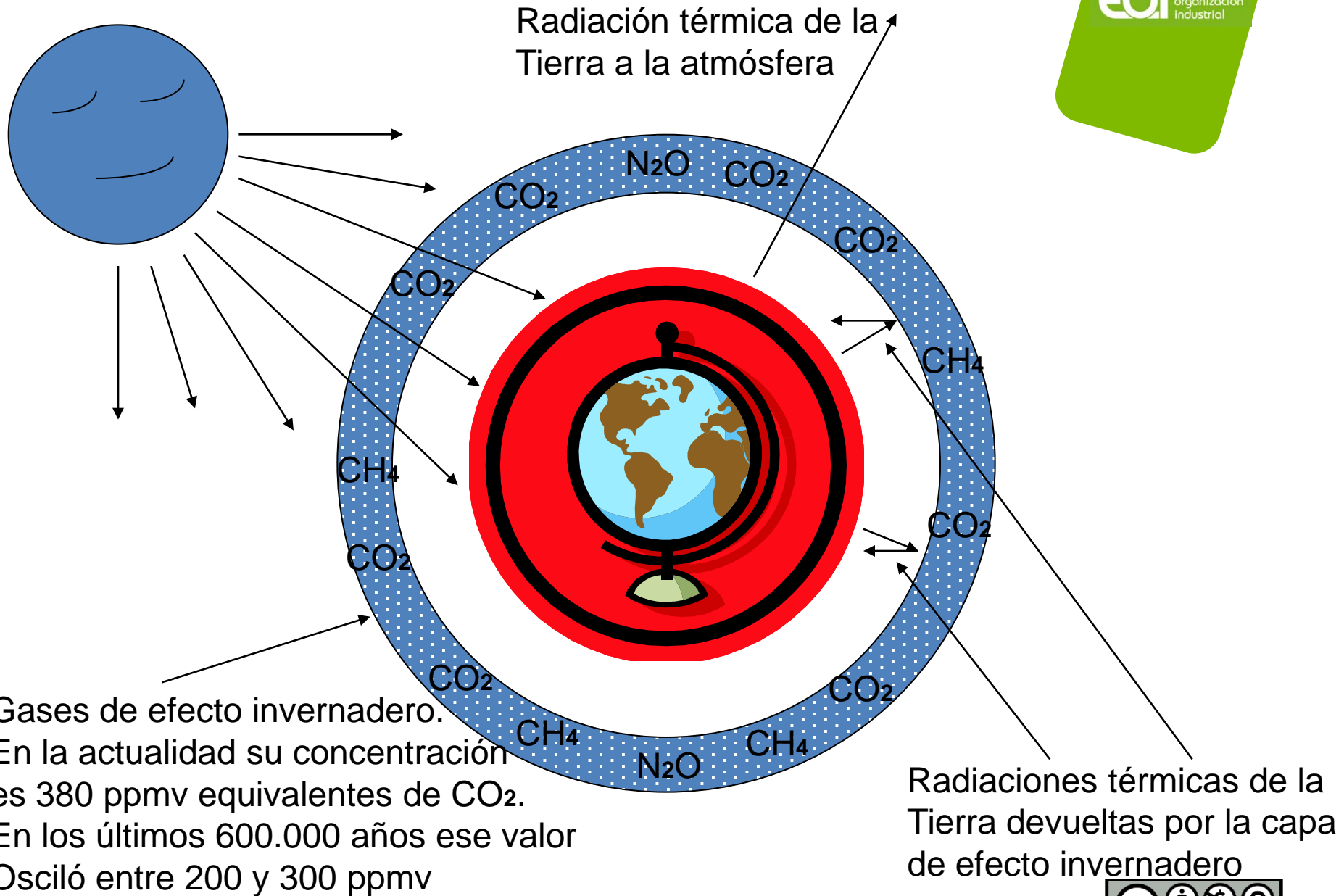
# Capítulo 6

El cambio climático, cuestión crítica hacia el futuro

# CALENTAMIENTO GLOBAL UN FUTURO INCIERTO:

- En la Historia de la Tierra y del hombre ha habido importantes variaciones climáticas
  - Han afectado a la vida de las especies. Migraciones
- En la actualidad alteramos de forma significativa la capa de gases de efecto invernadero
  - La existencia de esta capa permite la vida en la Tierra
  - Pero estamos incrementando su valor
    - Aumento significativo de la temperatura
    - Como mínimo 2°C en el siglo XXI



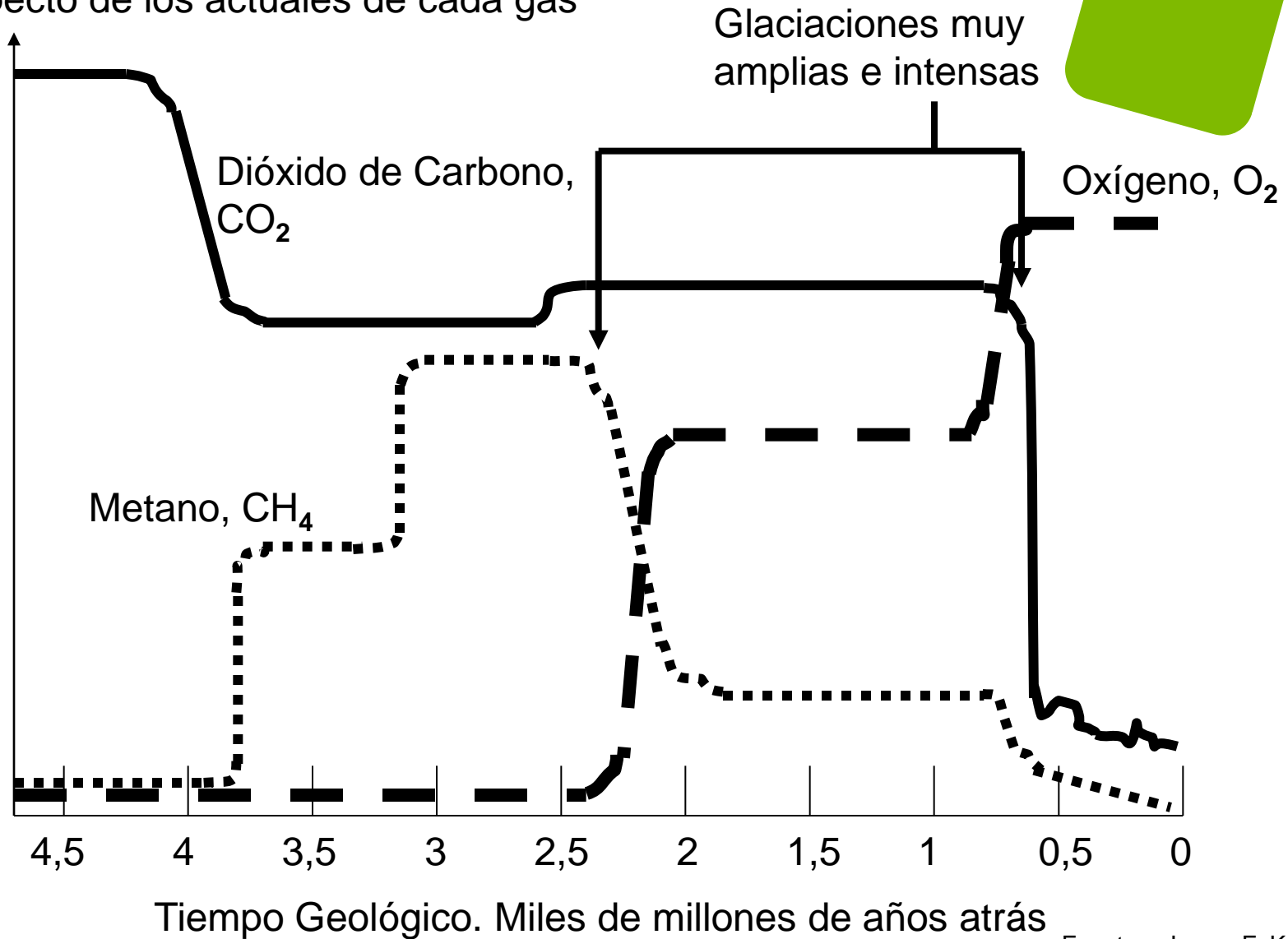


Gases de efecto invernadero.  
En la actualidad su concentración es 380 ppmv equivalentes de CO<sub>2</sub>.  
En los últimos 600.000 años ese valor Osciló entre 200 y 300 ppmv

# Desarrollo del clima

- La Historia Geológica de la Tierra y del Mundo nos muestra que vivimos, nosotros y aquí, por una evolución muy especial
  - Hoy tenemos una atmósfera y un entorno singular
- La Tierra tuvo una atmósfera de elevado contenido en CO<sub>2</sub>
- Luego creció la concentración de metano. Microorganismos
- Los fuertes descensos de las concentraciones de CO<sub>2</sub> y de CH<sub>4</sub> dieron lugar a amplias glaciaciones
- La formación de los combustibles fósiles redujo aun más la concentración de CO<sub>2</sub>
  - Elevada cantidad de carbono en estos combustibles

# Concentración en valores relativos respecto de los actuales de cada gas

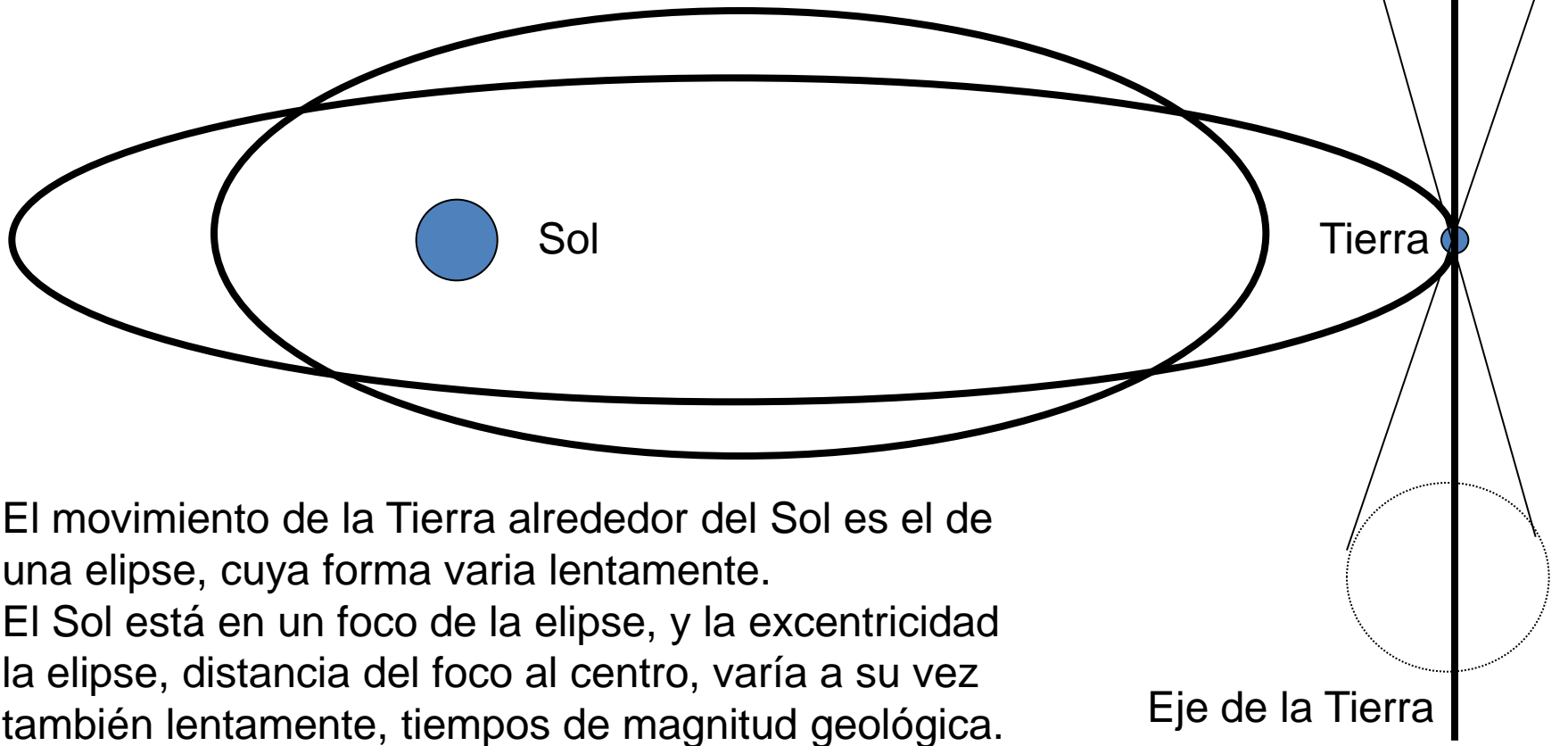


Fuente.- James F. Kasting

# Desarrollo del clima

- El clima también depende de una serie de parámetros que están en relación con el Sol
  - Forma de la elipse de la Tierra alrededor del Sol
  - Posición del eje de la Tierra respecto a ésta
- También de fenómenos propios de la dinámica terrestre
  - Corriente de El Niño
  - Oscilación del Atlántico Norte
  - Circulación de las corrientes marinas
  - Régimen general de vientos

Movimientos del eje de la Tierra,  
de precesión y de nutación, que  
describen un cono con ángulo  
de: 22,1 a 24,5 grados.



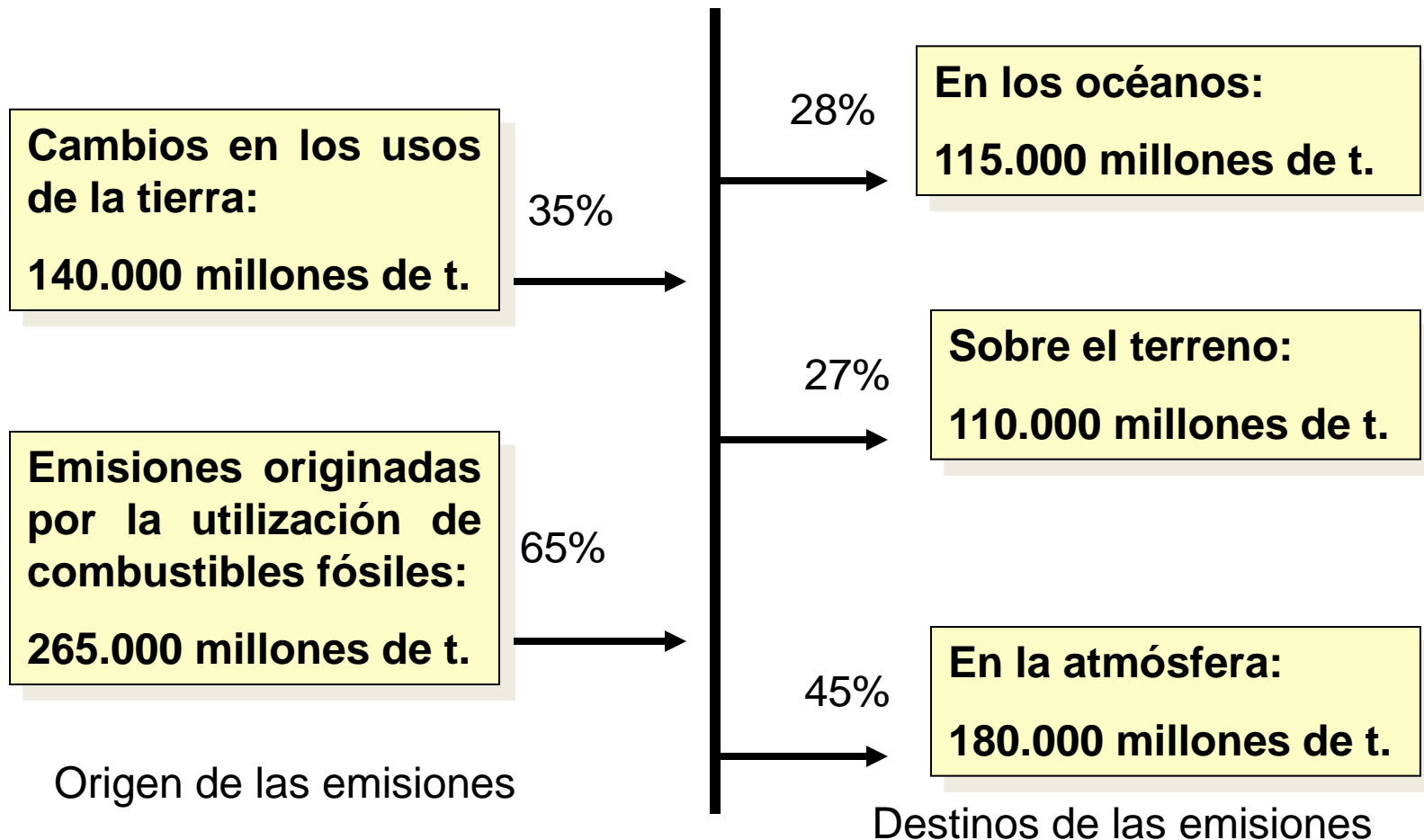
El movimiento de la Tierra alrededor del Sol es el de una elipse, cuya forma varía lentamente. El Sol está en un foco de la elipse, y la excentricidad la elipse, distancia del foco al centro, varía a su vez también lentamente, tiempos de magnitud geológica.

# Desarrollo del clima

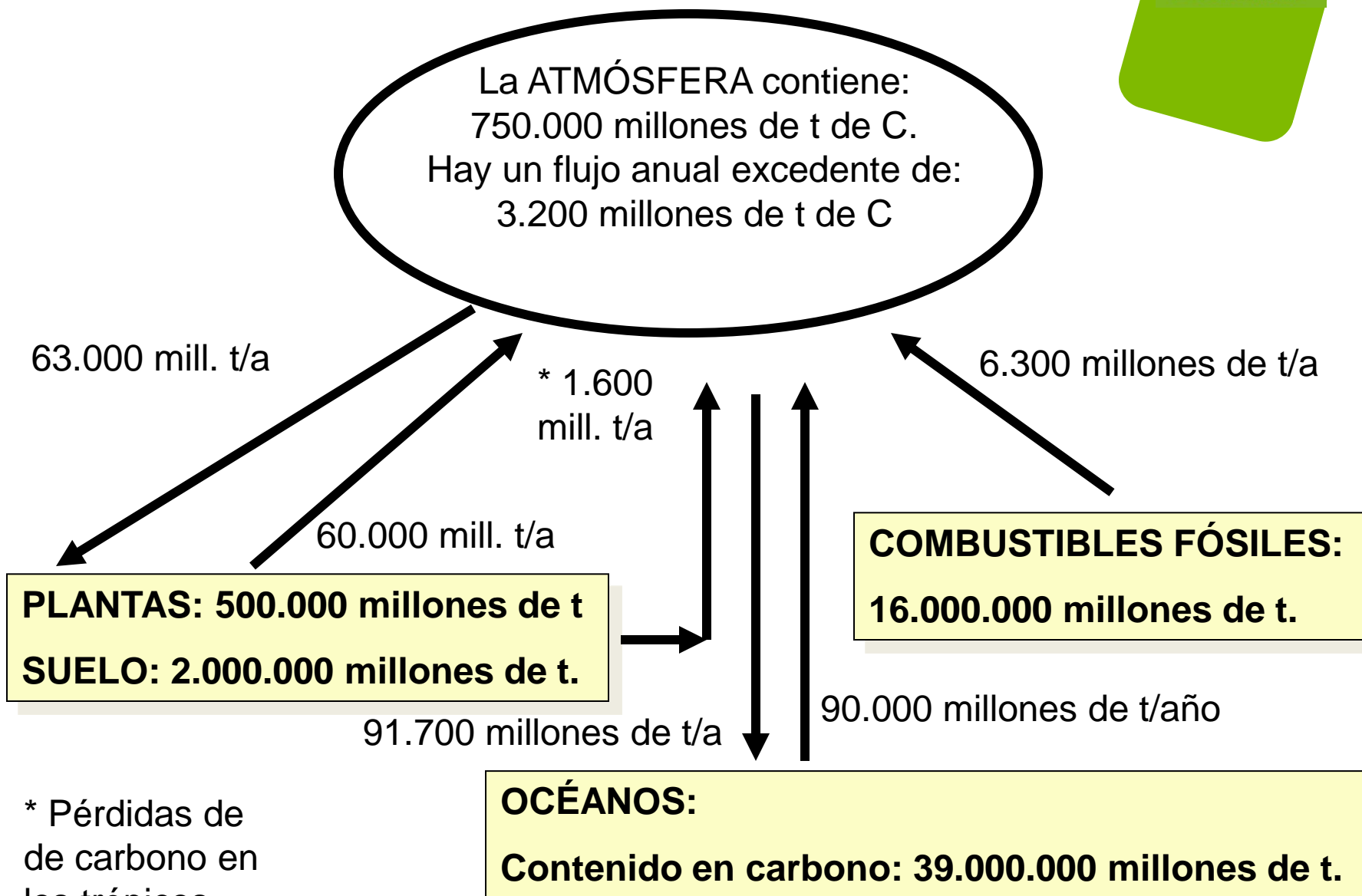
- Pero en los dos últimos siglos hemos emitido importantes cantidades de CO<sub>2</sub>
  - Que no han sido fijadas completamente
    - En los océanos
    - O en la tierra y la vegetación
- Hay un desequilibrio que incrementa la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera
- En el carbono potencialmente circulante el que almacenan los combustibles fósiles es un tercio del total
  - Vamos a poner una parte importante en circulación

# FLUJO DE CARBONO EN DOS SIGLOS, 1800 a 2000

## En toneladas de carbono

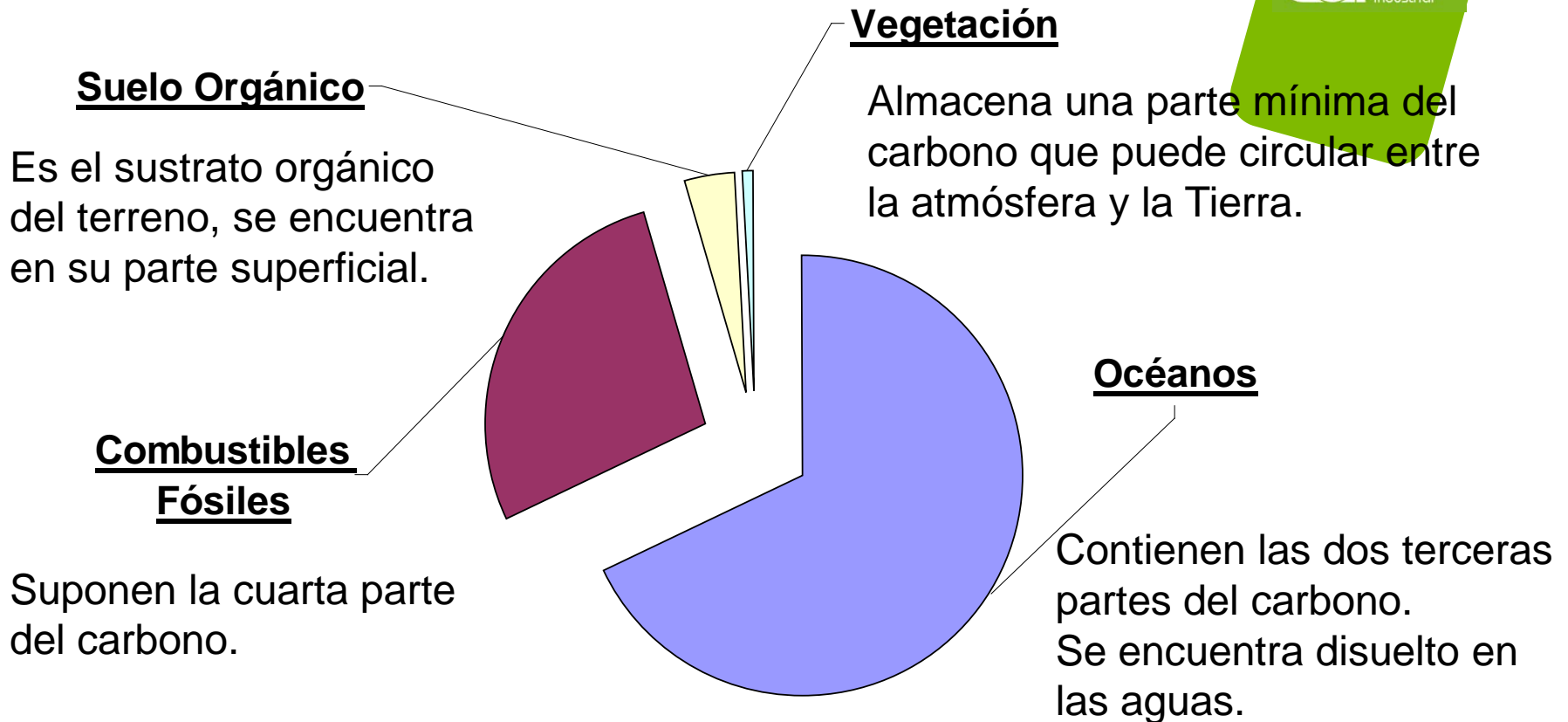


# BALANCE ESQUEMÁTICO DEL CARBONO EN LA TIERRA



\* Pérdidas de  
de carbono en  
los trópicos



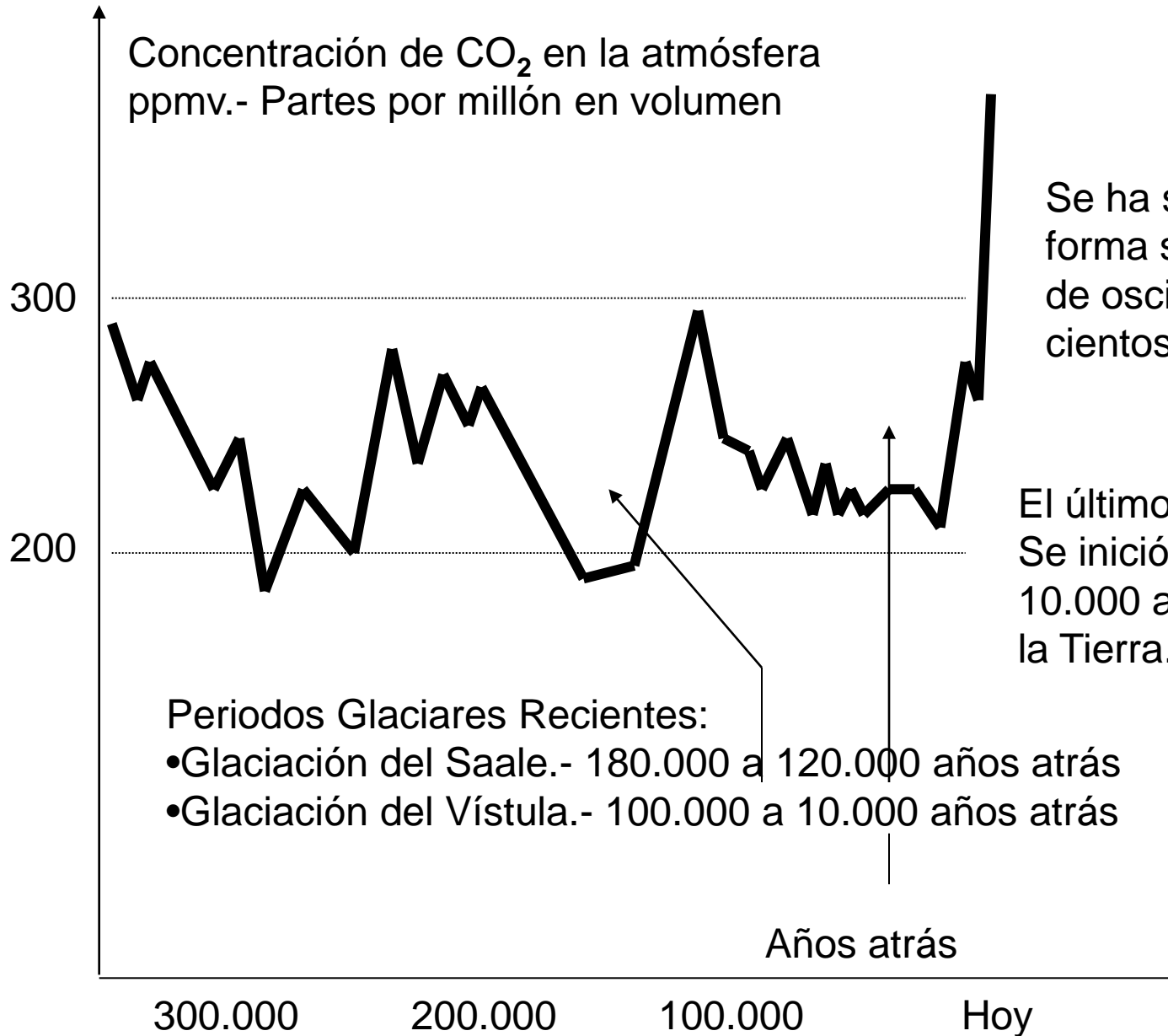


La cantidad global susceptible de entrar en el flujo de carbono se estima en:  
- 60.000.000 de millones de t.

Aparte están las rocas calcáreas, carbonatos de calcio y otros elementos que a estos efectos se consideran estables.

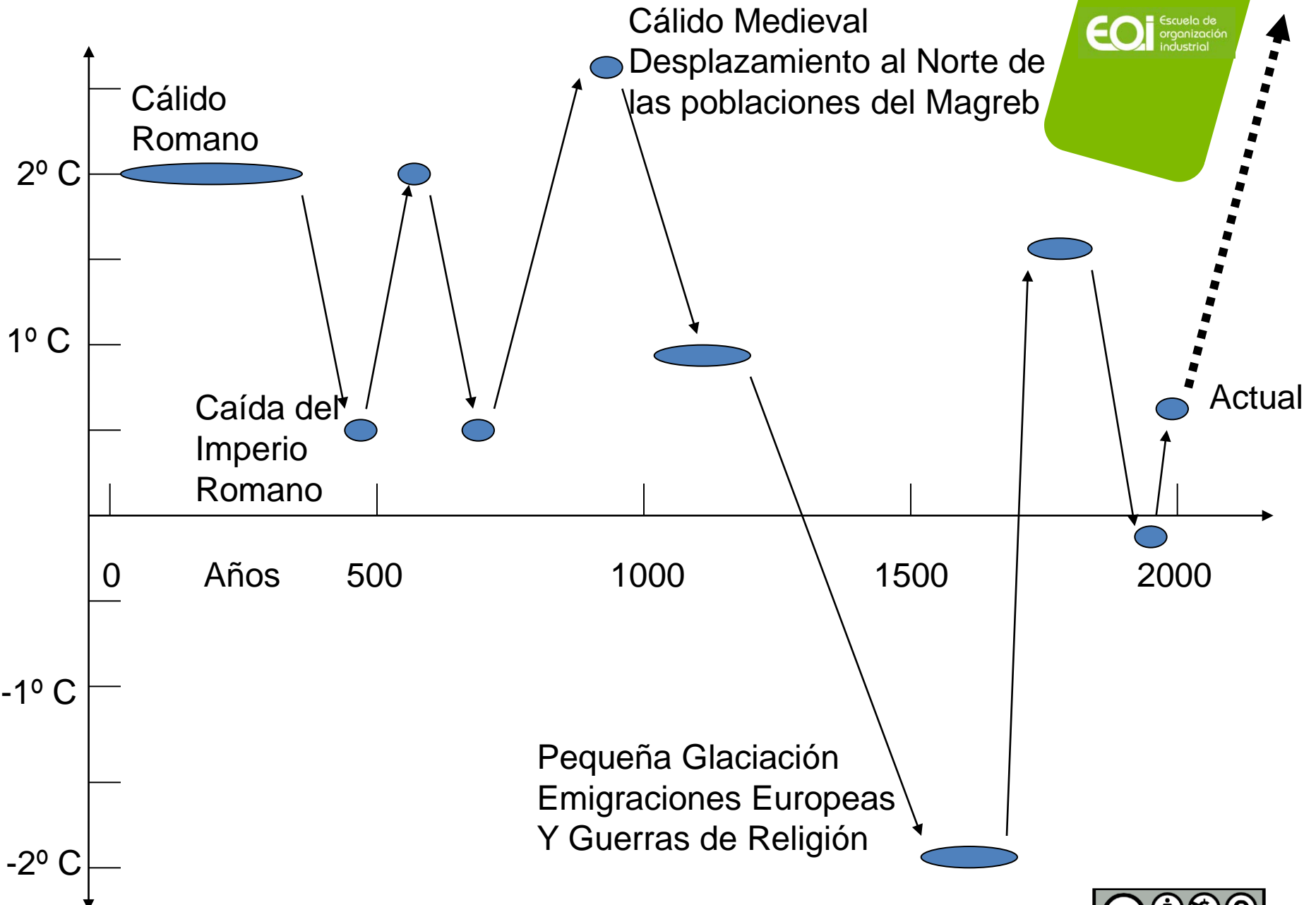
# Evolución del clima

- La época geológica más reciente ha sido fría
  - Seis largas glaciaciones en 600.000 años
- Estamos en uno de los periodos interglaciares
  - Comenzó hace unos 11.000 años
- En los 2.000 últimos años ha habido alteraciones del clima
- Fue singular el “Cálido Medieval” en terminología europea
  - Desde el siglo IX al XII.- Groenlandia
- Pero también fue sintomática la “Pequeña Glaciación”
  - Guerras y emigraciones en Europa



Se ha sobrepasado de forma significativa el rango de oscilación de los últimos cientos de miles de años.

El último periodo interglaciar Se inició hace 11.000 ó bien 10.000 años, según zonas de la Tierra.



## CÁLIDO GRECO ROMANO:

- La temperatura media en el entorno del Mediterráneo era seguramente mayor que la actual.
- Al sur de este mar posiblemente había un entorno natural no degradado y fértil. Túnez era el granero del Imperio Romano.
- La alimentación en general era buena y la población humana creció de forma significativa hasta el siglo IV de nuestra era.
- Un periodo siguiente de enfriamiento y malas cosechas, en particular en la zona Euro Asiática, forzó la emigración hacia el sur de los habitantes de ese territorio.
- Invasión de los Bárbaros del Norte, (Barbari significa extranjero en latín), y caída del Imperio Romano.

## PERIODO CÁLIDO MEDIEVAL:

- En torno al año 1000 se produce un breve periodo cálido, quizás con las temperaturas más elevadas de los dos últimos milenios.
- Los vikingos pueblan Groenlandia, que debe su nombre la denominación “Tierra Verde”. Su permanencia allí es corta, abandonan la isla en pocos siglos.
- Se produce el fin de la Edad de Oro de la Cultura Maya, su alimentación pudo decaer por falta de agua suficiente en un periodo que además de cálido parece que fue seco, al menos en su entorno.
- El actual Marruecos es invadido por pueblos del sur de la Cordillera del Atlas, quizás expulsados por el calor excesivo. Los almorávides y los almohades invaden la Península Ibérica.

## LA PEQUEÑA GLACIACIÓN:

- Es un periodo que se extiende desde mediados del siglo XVI hasta el comienzo del siglo XIX. La temperatura media fue sensiblemente menor que la actual.
- Se constata la congelación de las aguas del río Támesis y la celebración durante muchos años de un mercado sobre sus aguas.
- En el año 1605 se pudo cruzar el río Ebro a la altura de Tortosa en mula.
- Es un periodo de malas cosechas y hambrunas. Proliferan las guerras en Europa, entre ellas las de religión. Termina con la Revolución Francesa.
- Se produce una importante migración de europeos, pero también chinos, hacia América, no sabemos que influencia tuvo el clima.

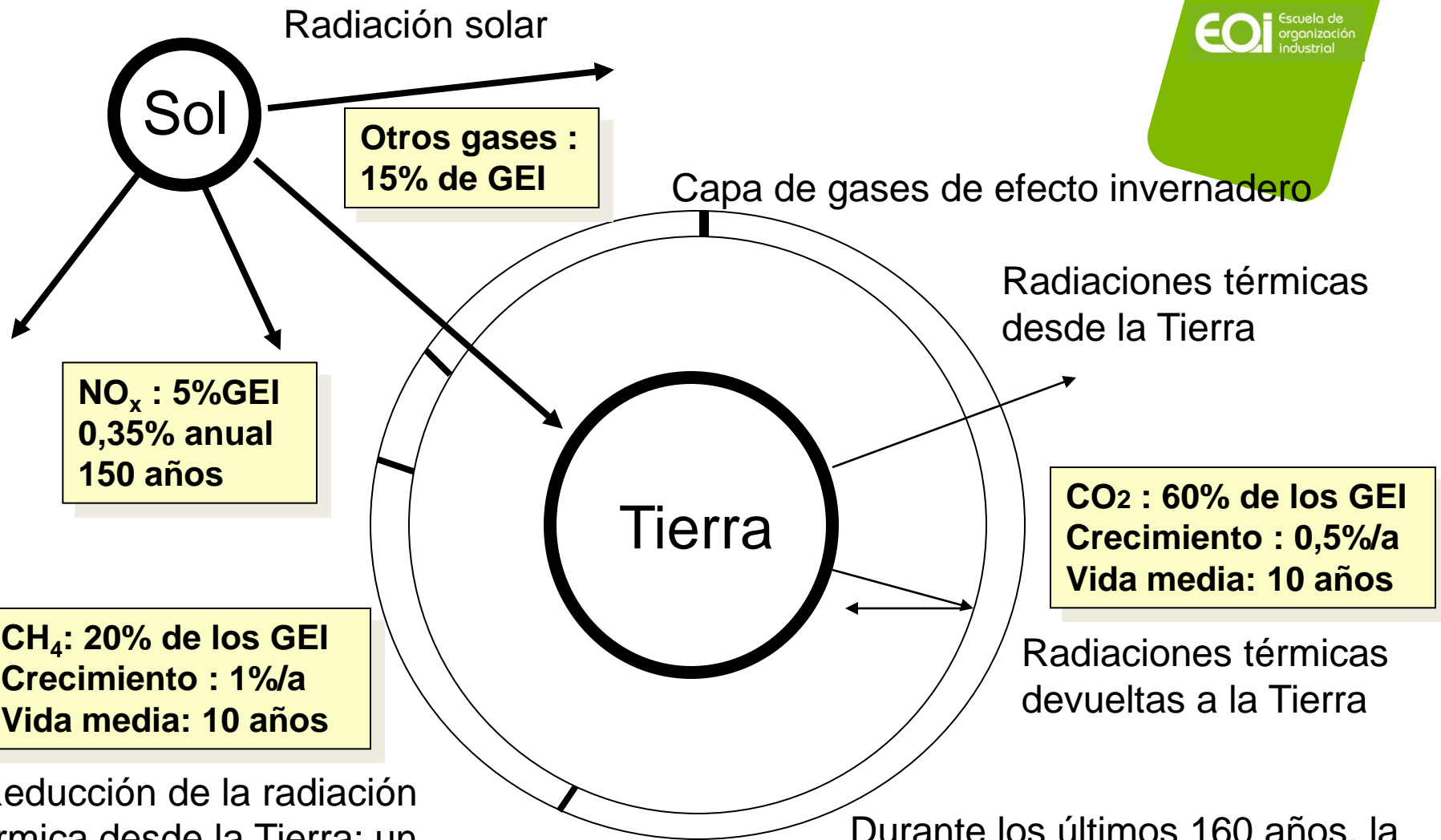


## Preocupa la evolución del hielo terrestre.- Glaciar Perito Moreno, Argentina



# Evolución del clima

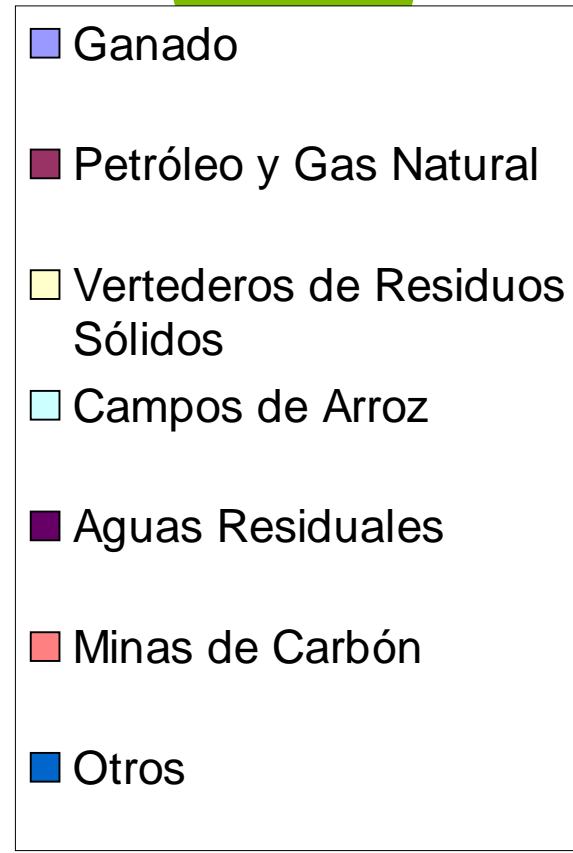
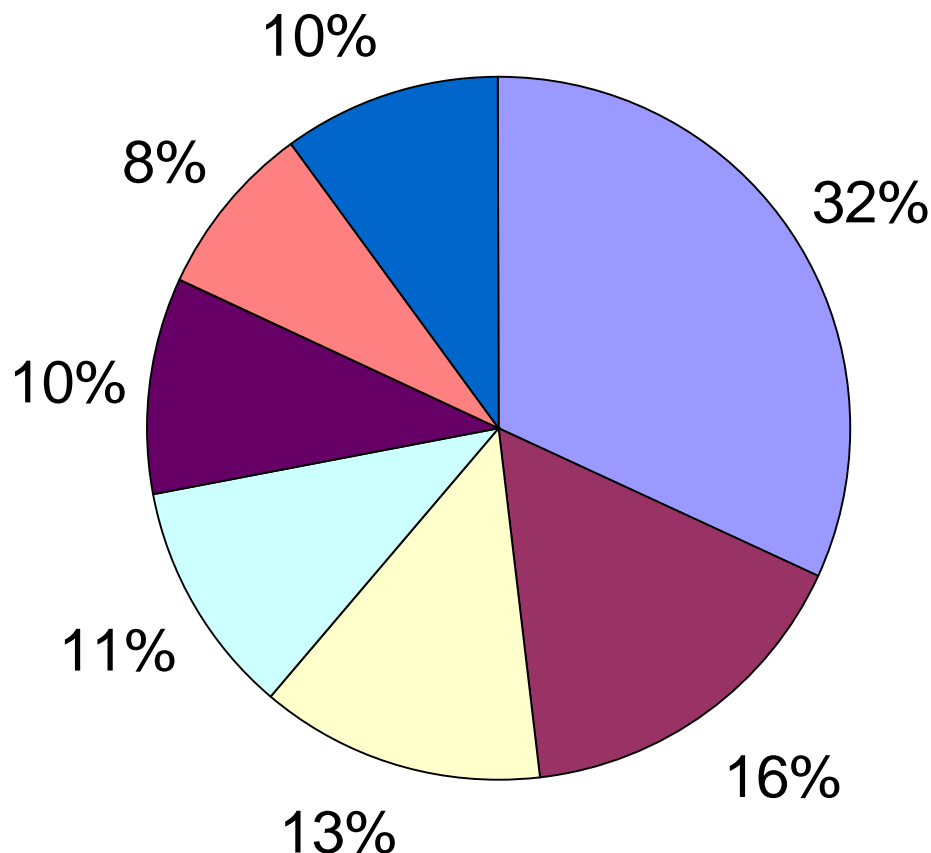
- Nos encontramos en una situación en la cual la concentración de gases de efecto invernadero ha crecido
  - El CO<sub>2</sub> es las dos terceras partes de ese efecto
    - Proviene de los usos energético y de los cambios en los usos de la tierra
    - Responsabilidad Países Industrializados
  - La concentración de CH<sub>4</sub> crece más rápidamente
  - Sus moléculas tienen un efecto invernadero mayor
    - Las emisiones están peor cuantificadas
- Hay que conseguir una estrategia de freno global



- Reducción de la radiación térmica desde la Tierra: un 2% en 150 años.
- Incremento medio de la temperatura: 0,5°C

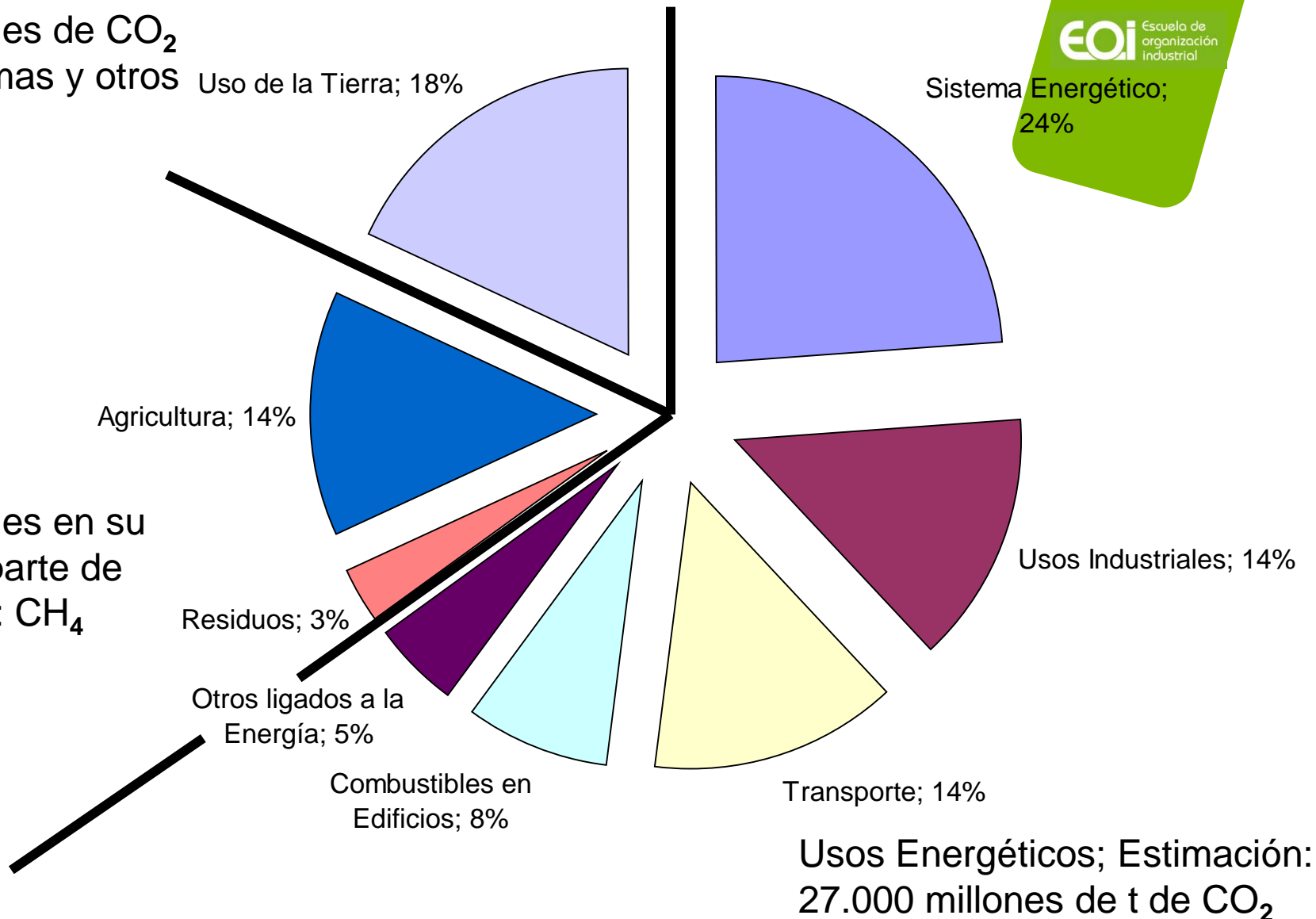
Durante los últimos 160 años, la concentración de CO<sub>2</sub> ha pasado de 250 a 380 ppmv  
La de CH<sub>4</sub> también ha crecido

# Emisiones de metano, CH<sub>4</sub>



El metano es un gas de efecto invernadero cuya contribución a la evolución del cambio climático se estima que es algo menos del 20% del fenómeno global.

# Emisiones de CO<sub>2</sub> en quemas y otros



# Emisiones en su mayor parte de metano: CH<sub>4</sub>

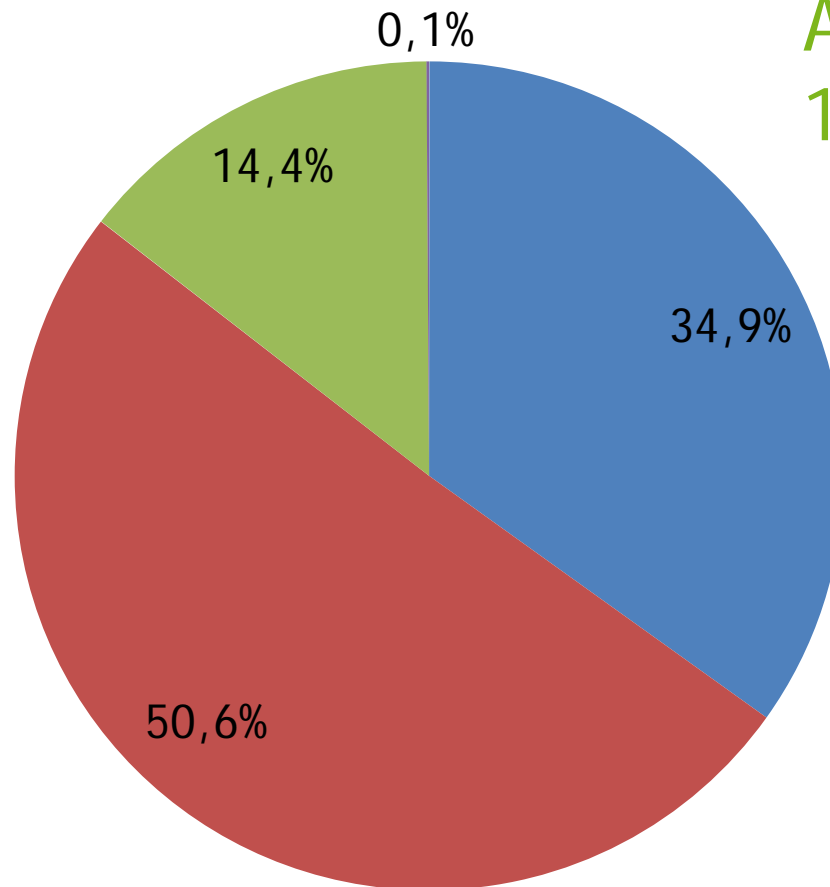
Usos Energéticos; Estimación: 27.000 millones de t de CO<sub>2</sub>

Emisiones Globales de Gases de Efecto Invernadero.

Año 2000.- Estimación: 42.000 millones de t equivalentes de CO<sub>2</sub>

# Emisiones por tipo de combustible

Año 1973 :  
15.643 Mt de CO<sub>2</sub>

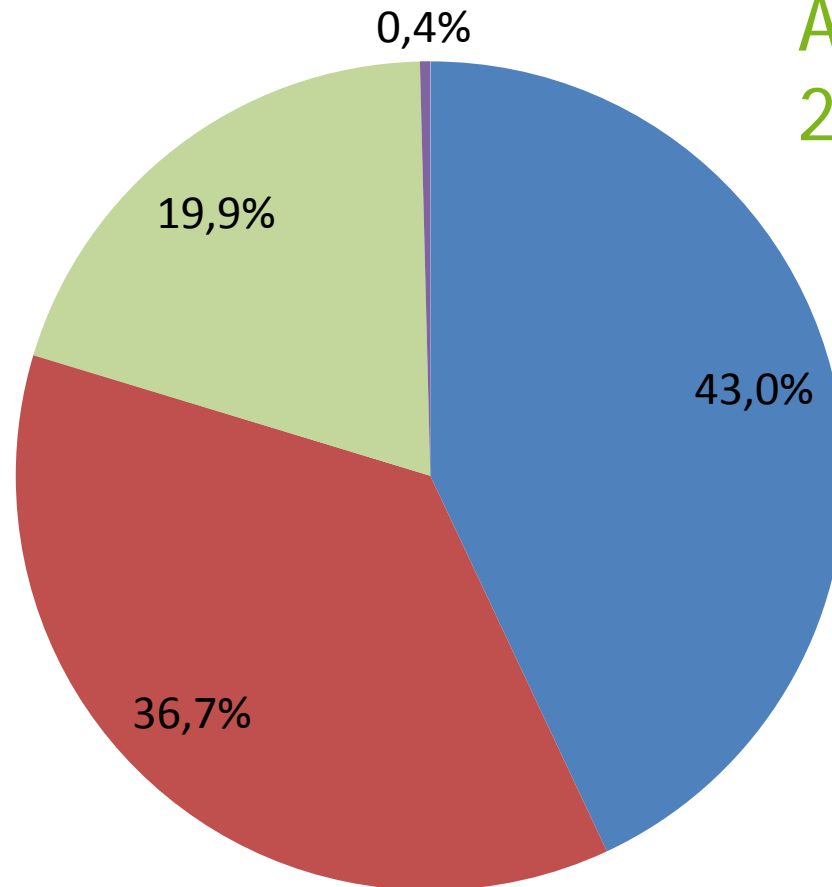


- Carbón
- Petróleo
- Gas
- Otros

Fuente: Agencia Internacional de la Energía

# Emisiones por tipo de combustible

Año 2009 :  
28.999 Mt de CO<sub>2</sub>



- Carbón
- Petróleo
- Gas
- Otros

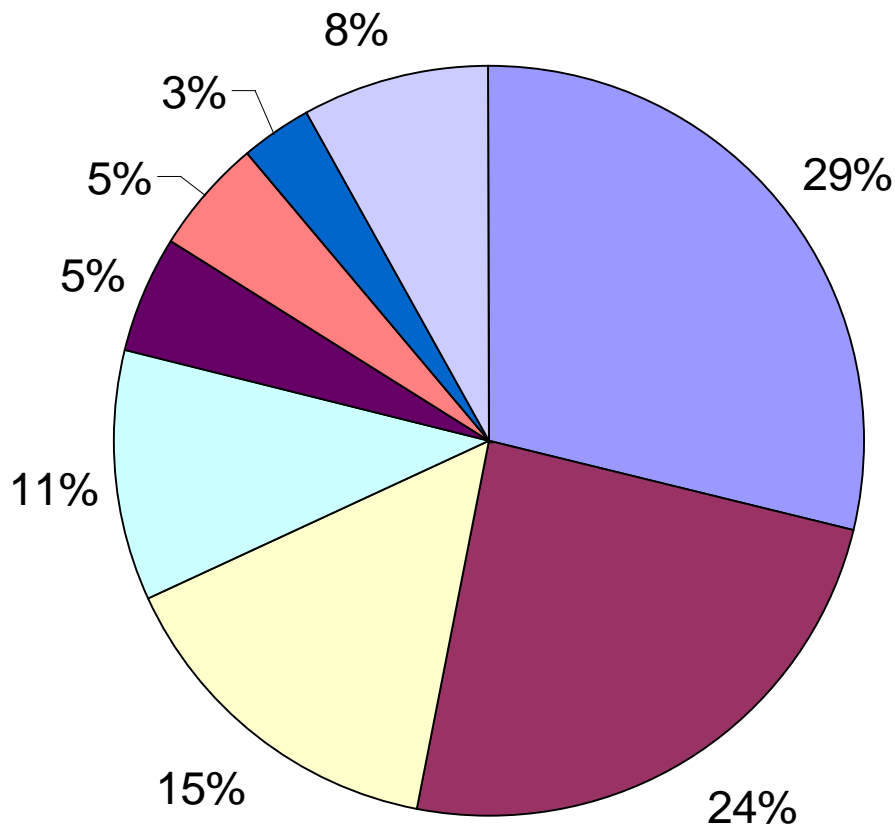
Fuente: Agencia Internacional de la Energía



# TENEMOS UNA DEUDA HISTÓRICA CON EL MUNDO:

- No sólo por el tema ambiental, que es el que aquí se trata
- Nuestras emisiones, las del Primer Mundo, de GEI han sido las determinantes del Cambio Climático
  - Además hemos inducido otras en el Tercer Mundo
    - Cambios en el “Uso de la tierra”
- La percepción del problema es diferentes en ambos mundos
- Es preciso plantearse nuevos esquemas de evolución
  - No es fácil diseñarlos y más difícil el cumplirlos

# Emisiones históricas de CO<sub>2</sub> Periodo: de 1950 al año 2000



Se estima que las emisiones de CO<sub>2</sub> en ese periodo han sido casi de un billón de t.  
1.000.000 millones de toneladas.





# EVOLUCIÓN DEL CLIMA

- Los efectos del Cambio Climático serán entre otros:
  - Subida del nivel de las aguas del mar
    - En la actualidad 2 mm por año
  - Mayor incidencia de ciclones y huracanes
  - Previsibles sequías en zonas de la Tierra
  - Incremento de la temperatura.- Enfermedades
    - En el siglo XXI entre 2 y 8°C
- Habrá regiones especialmente afectadas
- Esperamos que no se interrumpa la circulación termohalina

# EN ESPAÑA HEMOS ASUMIDO COMPROMISOS PROBLEMATICOS:

- Se pensó que con nuestro esquema económico y social era posible cumplir el Compromiso de Kioto
  - Hoy con decrecimiento reducimos emisiones
- Pero volveremos al crecimiento económico en unos años
  - Consumismo y creación de empleo
    - Turismo y otros servicios en todo el país
- El transporte ha sido un factor determinante del incumplimiento
  - Quizás cambiemos algo el modelo de comportamiento
- Nuestros objetivos ahora son más modestos y posibles

# Emisiones de GEI en España

Año 1990 equivale a 100%



- Nuevo objetivo para el año 2020 de acuerdo a las negociaciones con la Comisión Europea.
- Es preciso cumplirlo. Pero para ello, esta vez si que será preciso dibujar los escenarios.

Se hablo de bajar aquí en el año 2020. A efectos de España nos olvidamos.

- En enero de 2008, el Ministerio de Medio Ambiente de España asume de forma no explícita que ya nos olvidamos de cumplir el Compromiso de Kyoto.
- El nuevo objetivo es no sobrepasar el año 2020 las emisiones de 1990 en más de un 20% (30% con acuerdo internacional).

## AMÉRICA CENTRAL Y CARIBE:

- Incremento de la temperatura, tanto por mayor temperatura media de la Tierra, como por posiblemente menor evacuación de calor desde esta zona geográfica hacia latitudes mayores a causa de una menor actividad de la Corriente del Golfo.
- Mayor incidencia negativa de los huracanes y tifones en el lado atlántico, donde ya tradicionalmente ocasionan graves problemas. Posible llegada de huracanes en la costa del Pacífico.
- Posible reducción de la disponibilidad efectiva de agua para agricultura y para otros usos. Es previsible una mayor intensidad de la evaporación superficial y por lo tanto un déficit, que se une a las demandas crecientes de agua.
- Incidencia negativa en la habitabilidad de la región y en el turismo.

## NORTE Y CENTRO DE ÁFRICA:

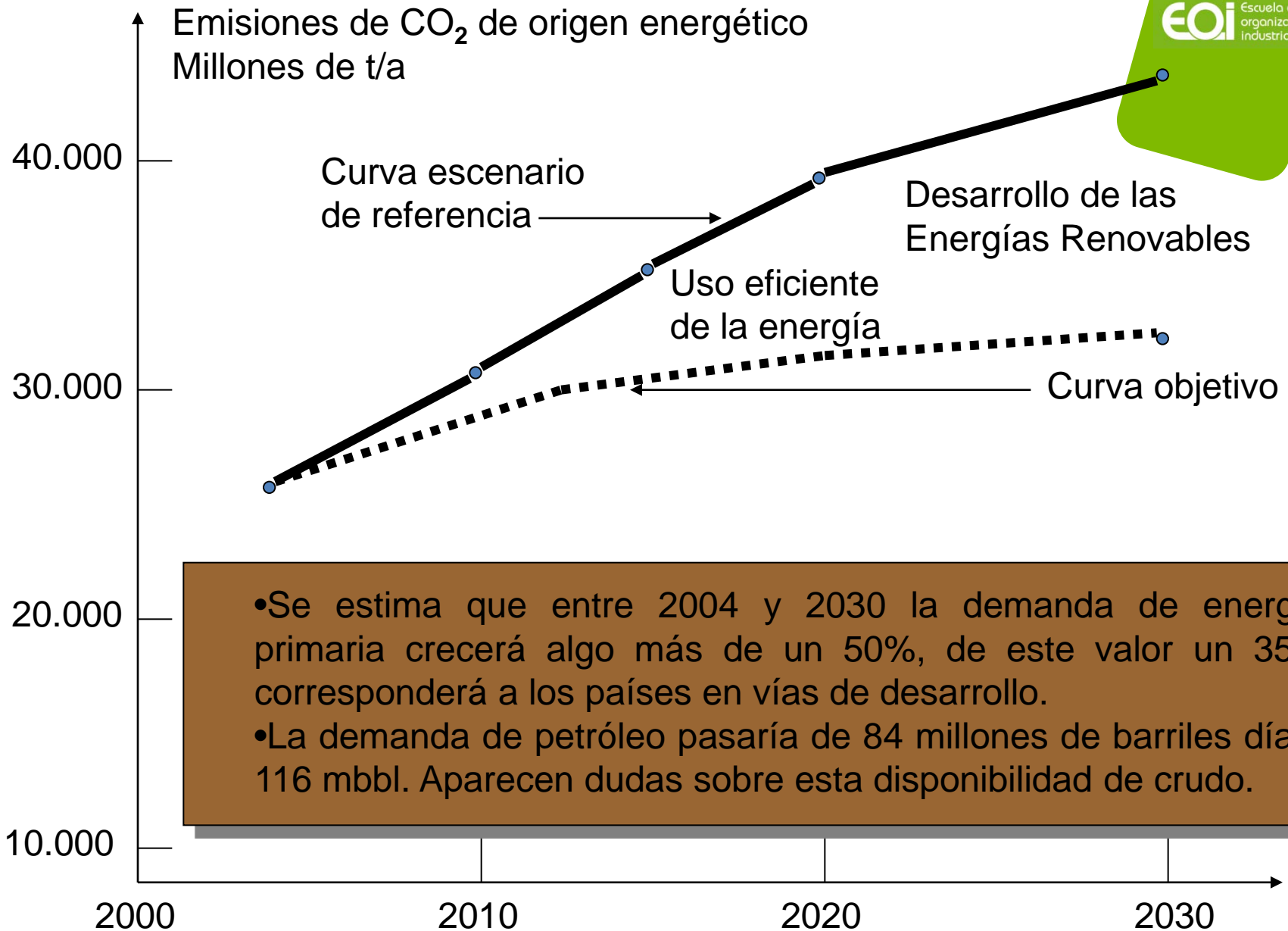
- Incremento de la temperatura por mayor temperatura media de la Tierra.
- Distribución posiblemente más irregular que la actual de las lluvias. Incidencia negativa de las sequías en los países del interior.
- Elevación del nivel del mar en las costas, especial afección al delta del Nilo y al estuario del río Gambia, pero también a otras áreas.
- Traslación de todo ello hacia una evolución negativa en la producción de alimentos. Mayor incidencia de las hambrunas.
- Efectos desfavorables sobre el desarrollo del turismo.
- Aumento de algunos condicionantes que fuerzan la emigración masiva.

# NEGOCIACIÓN INTERNACIONAL

- El Protocolo de Kyoto es sólo una primera herramienta
  - No ha sido bien utilizada
- Pretendía reducir las emisiones de los países más ricos
  - Preparar el camino para un cambio tecnológico
    - A nivel mundial
- Los “Mecanismos de Desarrollo Limpio” avanzan lentamente
  - Pesa el “Comercio de los Derechos de Emisión”
- Las emisiones siguen creciendo en el conjunto de países
- Es necesario un cambio radical. NO FÁCIL DE DISEÑAR
- Después de Copenhague y Cancún estamos bloqueados

## EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DE ORIGEN ENERGÉTICO: 1990 A 2004

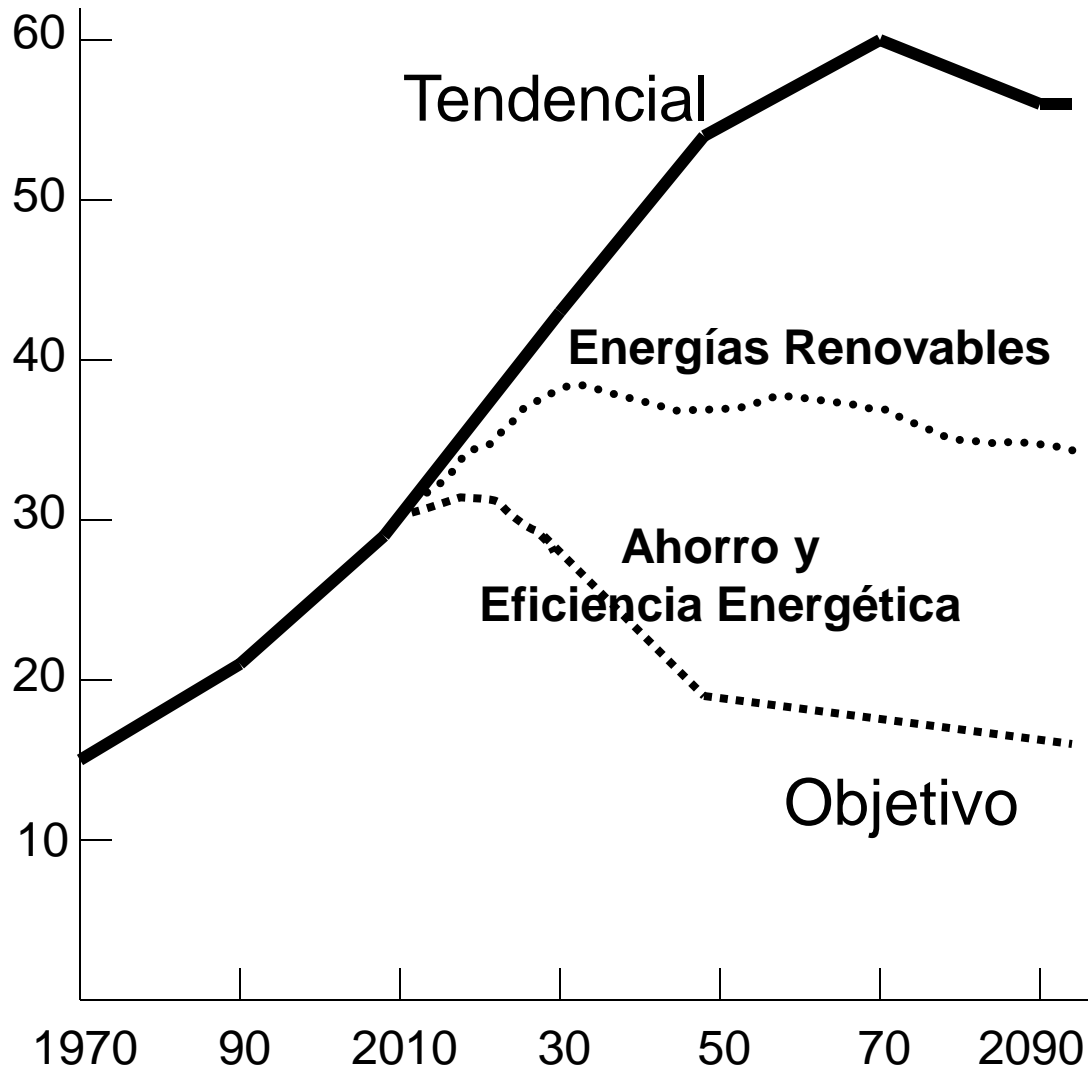
- A nivel global han crecido a ritmo moderado entre 1990 y 2000, luego se ha incrementado. Se alcanzan los 26.000 millones de t/a en 2004.
- Los países industrializados han aumentado sus emisiones un 11% en ese periodo. Las correspondientes a la generación de electricidad han crecido un 8,6% y las del transporte un 23,9%.
- Los países en vías de desarrollo se estima que han incrementado sus emisiones en torno al 54%. China un 47% entre 1990 y 2002. India dobló sus emisiones en el periodo citado. Brasil las aumentó un 37%.
- Estados Unidos es el mayor emisor, las incrementó un 15,8% en este periodo. Posiblemente será superado por China hacia el año 2010.



- Se estima que entre 2004 y 2030 la demanda de energía primaria crecerá algo más de un 50%, de este valor un 35% corresponderá a los países en vías de desarrollo.
- La demanda de petróleo pasaría de 84 millones de barriles día a 116 mbbbl. Aparecen dudas sobre esta disponibilidad de crudo.



# Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en miles de millones de t/a



- En el año 1850 la concentración estimada de GEI era de 250 ppmv
  - La concentración actual de GEI en las capas altas de la atmósfera es de 380 ppmv
  - Para conseguir que a finales del siglo XXI, la concentración no se elevara por encima de 550 ppmv, es preciso reducir las emisiones de GEI de acuerdo con la curva denominada "Objetivo"
  - Son necesarias dos acciones:
    - + **Desarrollo de las energías renovables.**
    - + **Fomento del ahorro y el uso eficiente.**
- EN TODO EL MUNDO**

Fuente.- UE. Dirección General de Medio Ambiente

# 7.- LA ENERGÍA ES UN FACTOR CRÍTICO HACIA FUTURO (1):

- Todas las energías son necesarias
- Los mercados de hidrocarburos se pueden complicar
  - Quizás no haya todo el suministro que demandamos
- España está desconectada de las redes europeas de transporte
  - De las de gas natural y de las de electricidad
- Pero, ¿es necesaria la conexión?
  - Incidencia económica
  - Incidencia en la seguridad de suministro

# 7.- LA ENERGÍA ES UN FACTOR CRÍTICO HACIA FUTURO(2):

- Retornar al carbón es una solución técnica de elevada inversión
  - Mayores emisiones de CO2 en el sistema eléctrico
- Aunque a nivel mundial seguirá ocupando una posición destacada (30% en 2035)
- Necesidad de ampliar la generación con energía eólica y solar
  - Complejidad mayor en la gestión de la red eléctrica
  - Necesario aumentar inversiones en I+D
- En consecuencia, sistema de suministro mucho mas caro

# Algunas direcciones de internet

- Ministerio de ICyT: <http://www.mityc.es/energia/es-ES/Paginas/index.aspx> y en especial <http://www.mityc.es/energia/electricidad/Paginas/Index.aspx>
- Operador del sistema (REE): [www.ree.es](http://www.ree.es)
- Operador del mercado:  
<http://www.omel.es/frames/es/index.jsp>
- IEA: <http://www.iea.org/>
- U.S. Energy Information Administration:  
<http://www.eia.doe.gov/>