



Universidad
del País Vasco
Euskal Herriko
Unibertsitatea

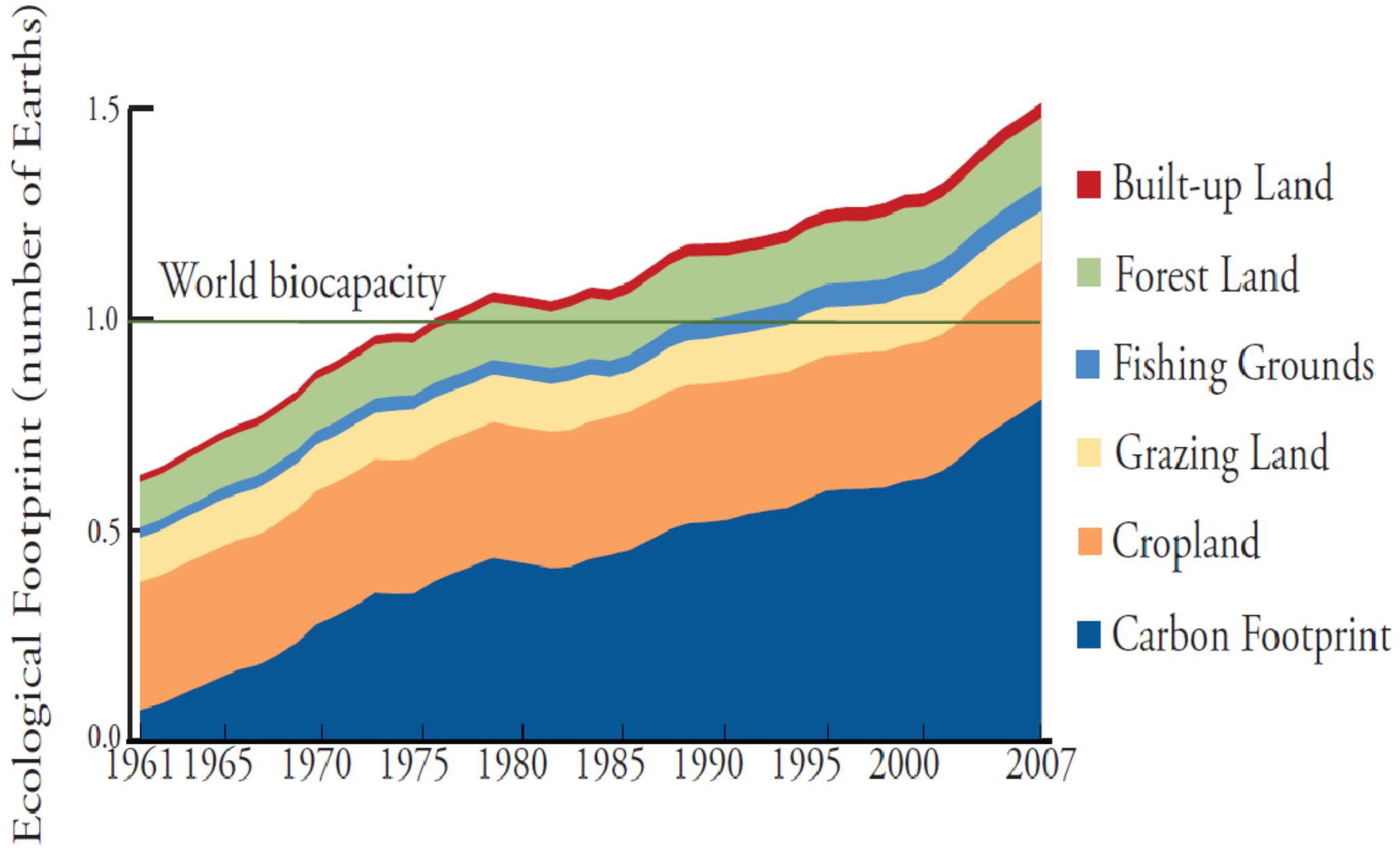
BILBOKO
INGENIARITZA
ESKOLA
ESCUELA
DE INGENIERÍA
DE BILBAO

El papel de las energías renovables en la transición hacia un nuevo modelo energético sostenible

Gorka Bueno - EHU

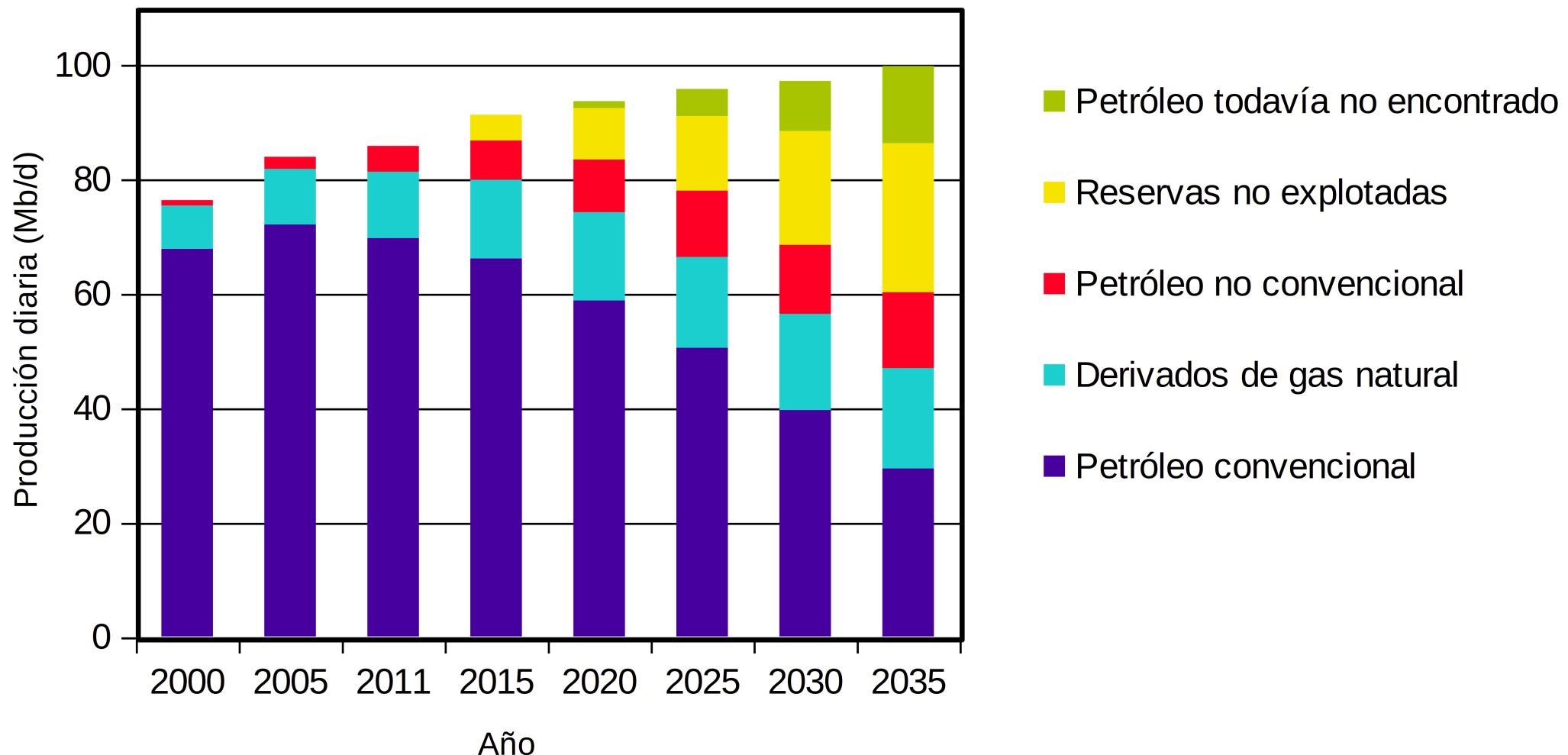
***Máster Propio Medio Ambiente, Sostenibilidad y ODS
Cátedra UNESCO***

Huella ecológica de la humanidad



Producción mundial de petróleo

IEA - WEO 2012 (New Policies Scenario)



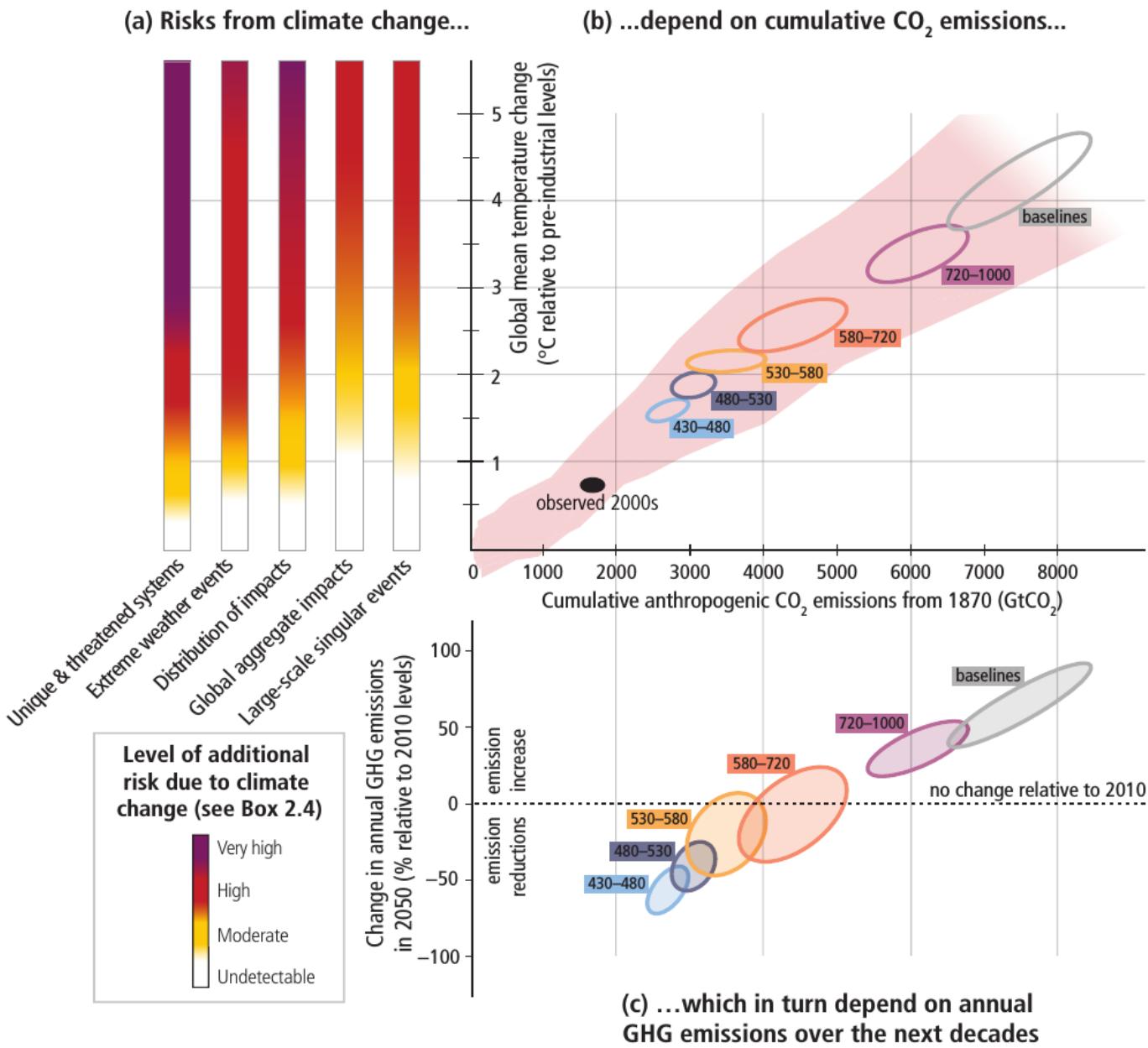


Figure SPM.10 | The relationship between risks from climate change, temperature change, cumulative carbon dioxide (CO₂) emissions and changes in annual greenhouse gas (GHG) emissions by 2050. Limiting risks across Reasons For Concern (a) would imply a limit for cumulative emissions of CO₂ (b) which would constrain annual GHG emissions over the next few decades (c). **Panel a** reproduces the five Reasons For Concern (Box 2.4). **Panel b** links temperature changes to cumulative CO₂ emissions (in GtCO₂) from 1870. They are based on Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) simulations (pink plume) and on a simple climate model (median climate response in 2100), for the baselines and five mitigation scenario categories (six ellipses). Details are provided in Figure SPM.5. **Panel c** shows the relationship between the cumulative CO₂ emissions (in GtCO₂) of the scenario categories and their associated change in annual GHG emissions by 2050, expressed in percentage change (in percent GtCO₂-eq per year) relative to 2010. The ellipses correspond to the same scenario categories as in Panel b, and are built with a similar method (see details in Figure SPM.5). [Figure 3.1]

El consumo de energía de la humanidad es enorme

Algunos flujos de energía (1 EJ equivale a 10^{18} julios)

Energía solar interceptada por la Tierra	5 430 000 EJ
Flujo de energía involucrada en el ciclo del agua	1 260 000 EJ
Energía capturada por la biomasa (fotosíntesis)	1 700 EJ
Flujo geotérmico del planeta	1 260 EJ
Consumo mundial de combustibles fósiles (2007)	411 EJ
Energía hidráulica de los ríos del planeta	300 EJ

Todas las cantidades a nivel mundial, anualmente.

- ✓ Muchos flujos de energía en la naturaleza no pueden sustituir de forma sostenible el consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas).

Interferencia humana en los ciclos naturales de diversos elementos químicos

Magnitudes de los ciclos de N, P y C en la naturaleza

Ciclos naturales			Interferencia humana
Ciclo natural del nitrógeno ¹	233 Tg N/año	156 Tg N/año 100 Tg N/año	Producción de nitrógeno reactivos ¹ procesos Haber-Bosch
Flujo de fósforo por erosión y escorrentías ²	30 Tg P/año	15 Tg P/año	Consumo de fertilizantes inorgánicos ²
Productividad primaria neta de la biosfera ³	105 Pg C/año	9 Pg C/año	Emisiones de CO ₂ por consumo de fósiles y cambios de uso del suelo ⁴

¹ Galloway et al., 2004: *Nitrogen Cycles: Past, Present, and Future*

² Smil, 2000: *Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences*

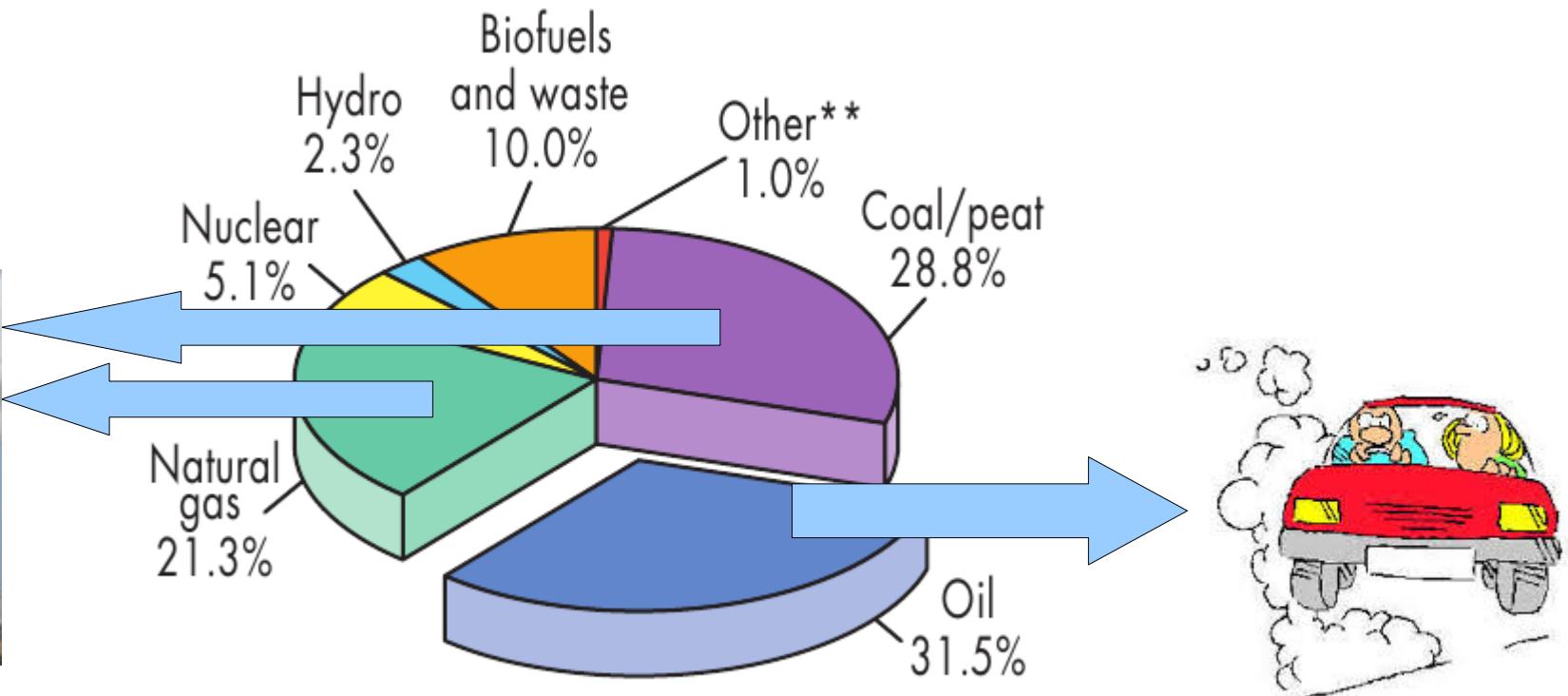
³ Field et al., 1998: *Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components*

⁴ IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report*

✓ Las consecuencias de la acción humana comienzan a ser “**sobrenaturales**”.

Suministro de energía primaria en el mundo en 2011

2011



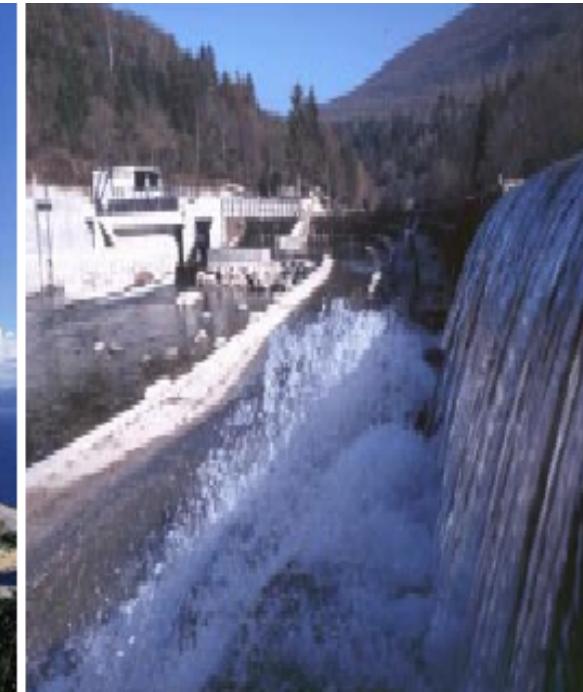
13 113 Mtoe

550 EJ ~ 77 GJ/cap

Las energías renovables son maravillosas... ... ¡¡pero no hacen milagros!!

- ✓ Hay una gran diversidad de flujos de energía renovable disponibles, que permiten muy diversos usos.
- ✓ Las cadenas de energía renovable son, en general, muy cortas.
- ✓ Algunas tecnologías renovables son muy eficientes.
- ✓ Los flujos de energía renovable no cuestan dinero (sol, viento...).

- ✗ Las tecnologías que explotan los flujos renovables sí cuestan dinero (y energía).
- ✗ No podemos controlar la Naturaleza.
- ✗ Los flujos son inagotables, pero limitados en cada momento, y malamente almacenables.
- ✗ La explotación de los flujos renovables también implica impactos.



Últimos datos:
REN21 Global Status Report

Energía eólica

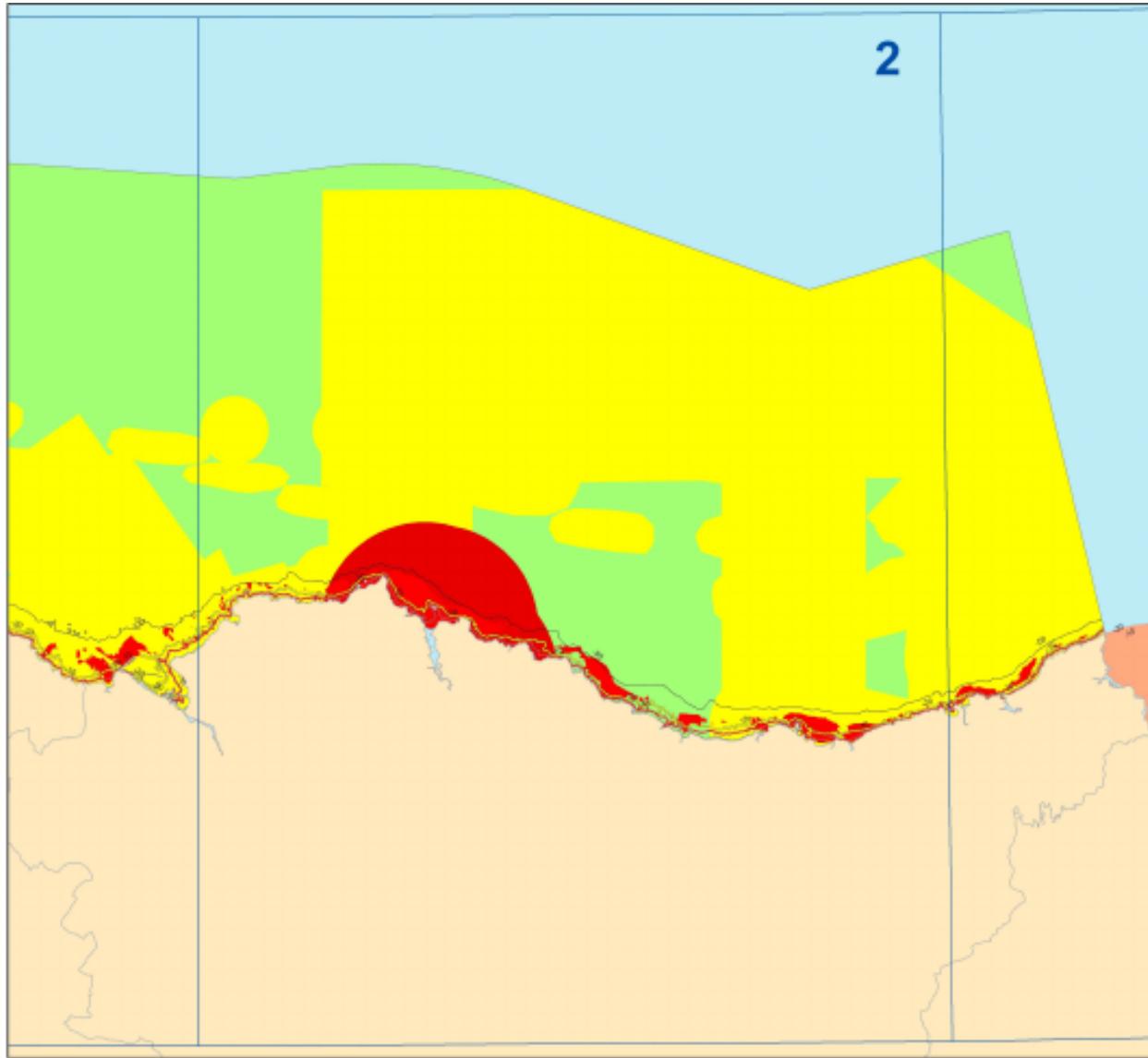
- ✓ Potencia de los aerogén.: ON-SHORE (terrestre), 800 kW-2 MW
OFF-SHORE (marina), 2-5 MW
- ✓ Los costes son competitivos: en España la electricidad eólica hace que el precio de casación del mercado baje.
- ✓ La tecnología está muy madura.
- ✓ El modelo de explotación es adecuado para las grandes empresas del sector: los parques son de grandes dimensiones (25-200 MW).
- ✓ 2018 terminó con 591 GW de potencia instalada en el mundo.



Horns Rev (Mar del Norte). 160 MW

REpower 5M
Alemania, 2005





ÁREAS EÓLICAS MARINAS

Vizcaya - Guipúzcoa - Área N°2.
10 5 0 10 Km
Proyección NEUTM 38. WGS84



Zonificación

- Zonas de exclusión
- Zonas con limitaciones
- Zonas aptas

Batimetría

- 10
- 20
- 30
- 50

N



(1) E Exclusión: Bandas comprendidas entre la bermuda y la bathymetria -10m
(2) L Limitación: Bandas hidrográficas comprendidas entre -10 m y -30 m
(3) Z Limitación: Bandas de 10 Km de distancia paralelas a la línea de costa

LEYENDA

Zonas de exclusión

Recursos y actividades pesqueras

Dominio público marítimo-terrestre¹⁾

Bandas libres con dominio de uso mixto entre

Zonas de exclusión de usos

Biodiversidad y áreas protegidas

Reservas marinas 2000

Munedos Roman

Zonas marinas protegidas por normativa vigente

Seguridad ambiental

Zonas con limitaciones

Recursos y actividades pesqueras

Caloríferos y estanques de alta presión

Dominio público marítimo-terrestre¹⁾

Biodiversidad y áreas protegidas

Propuestas para entorno marino-vacío marino

Propuestas Áreas marinas protegidas (AMP) Vizcaya

Petromero cultural

Seguridad ambiental

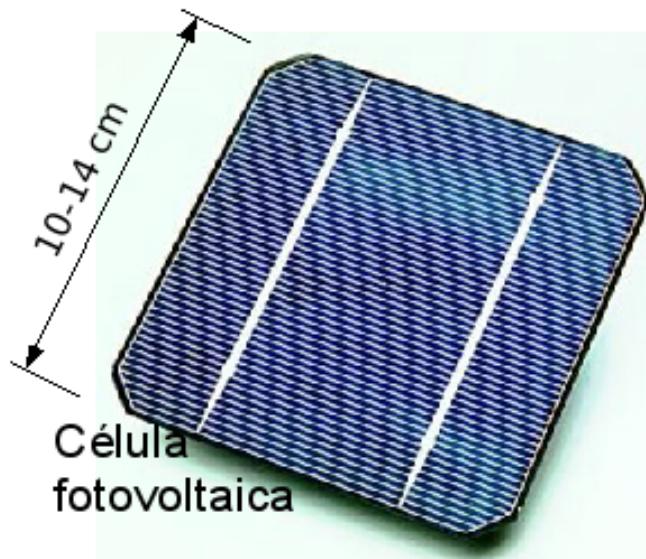
Zonas semiventanas noreste-sureste

Playas²⁾

costas/arena 0-10 Km

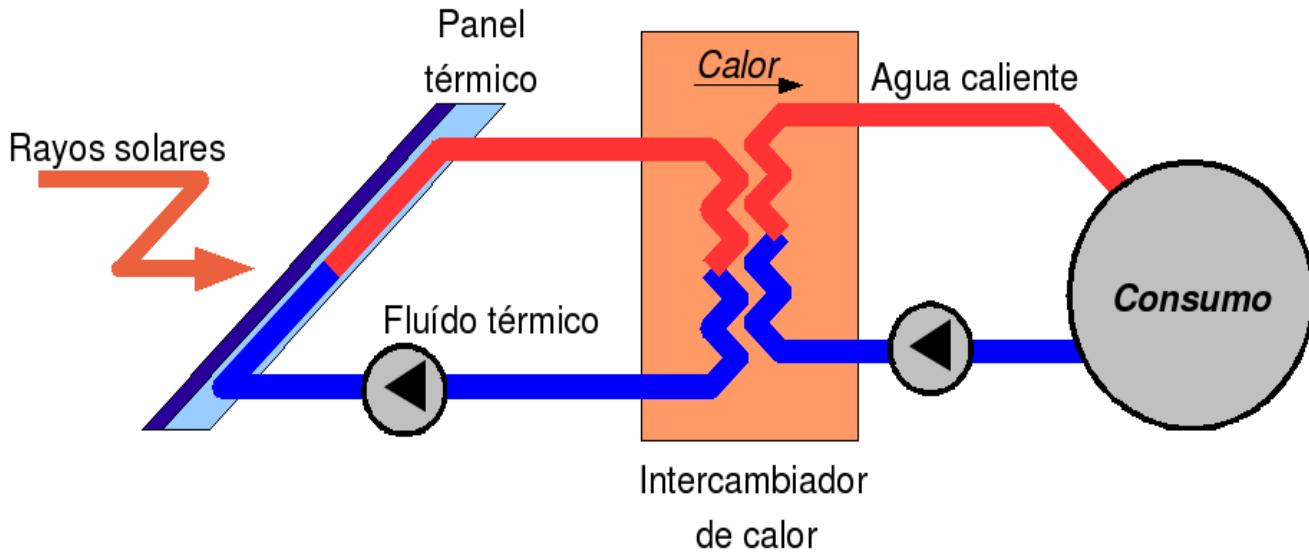
Energía fotovoltaica (PV)

- ✓ Los sistemas fotovoltaicos son muy modulares.
- ✓ Los sistemas pueden ser estáticos. A veces, para recibir más radiación solar, los sistemas siguen el movimiento del sol.
- ✓ Las células solares proporcionan corriente continua. Mediante sistemas electrónicos, la corriente continua se convierte en alterna y se inyecta en la red.
- ✓ En 2018 había en el mundo 505 GW de potencia PV instalados (fundamentalmente en red).



Energía térmica de baja temperatura

- ✓ La fuente de la energía térmica es la **radiación solar**.



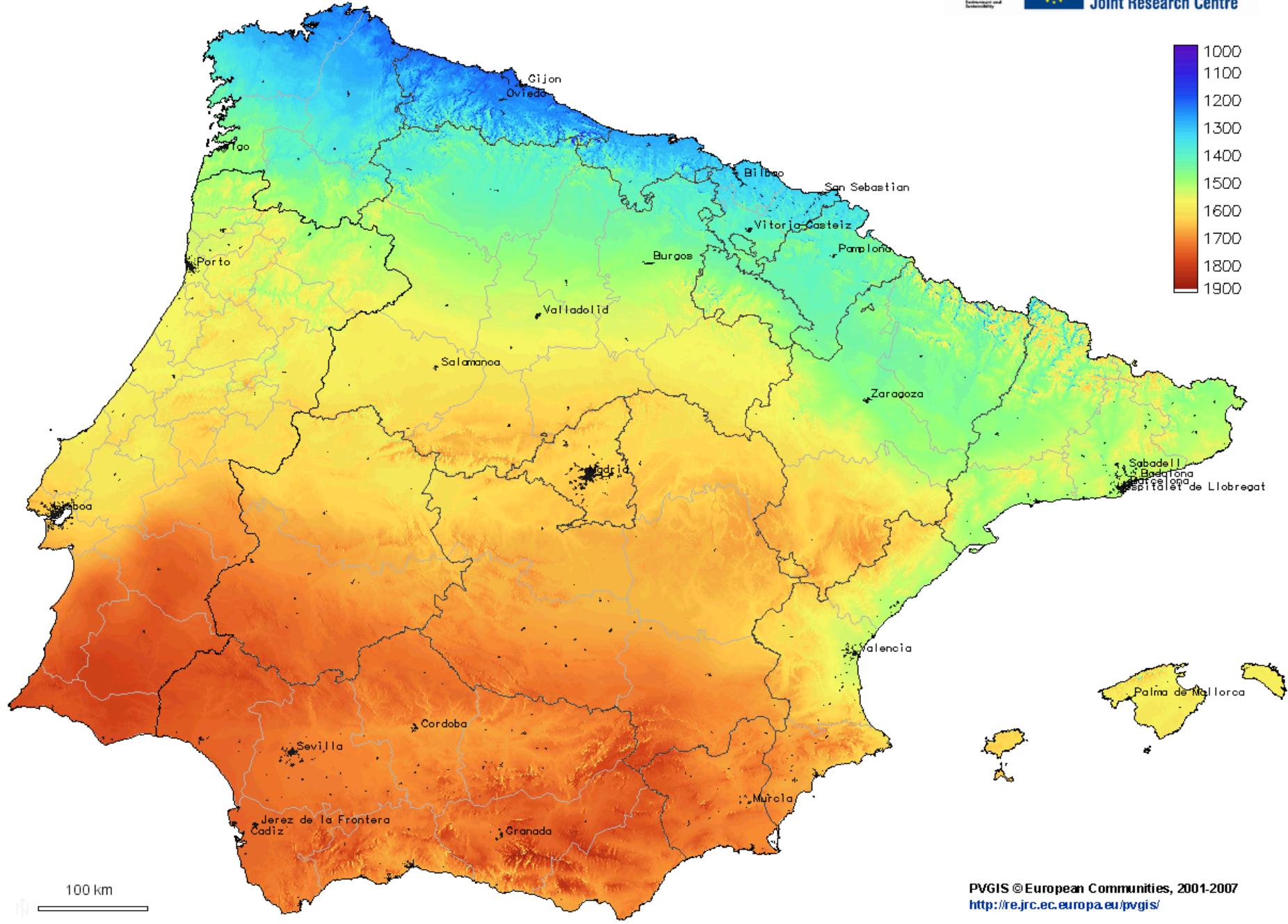
- ✓ El potencial de la energía térmica es enorme para proporcionar calefacción y agua caliente, especialmente en las viviendas.
- ✓ Las eficiencias son las más altas entre las renovables (> 50 %).
- ✓ En 2018 había 480 GW de potencia instalada en millones de instalaciones en países como China, Turquía, Alemania, Japón, Israel...



Yearly sum of global irradiation on a horizontal surface - Spain and Portugal



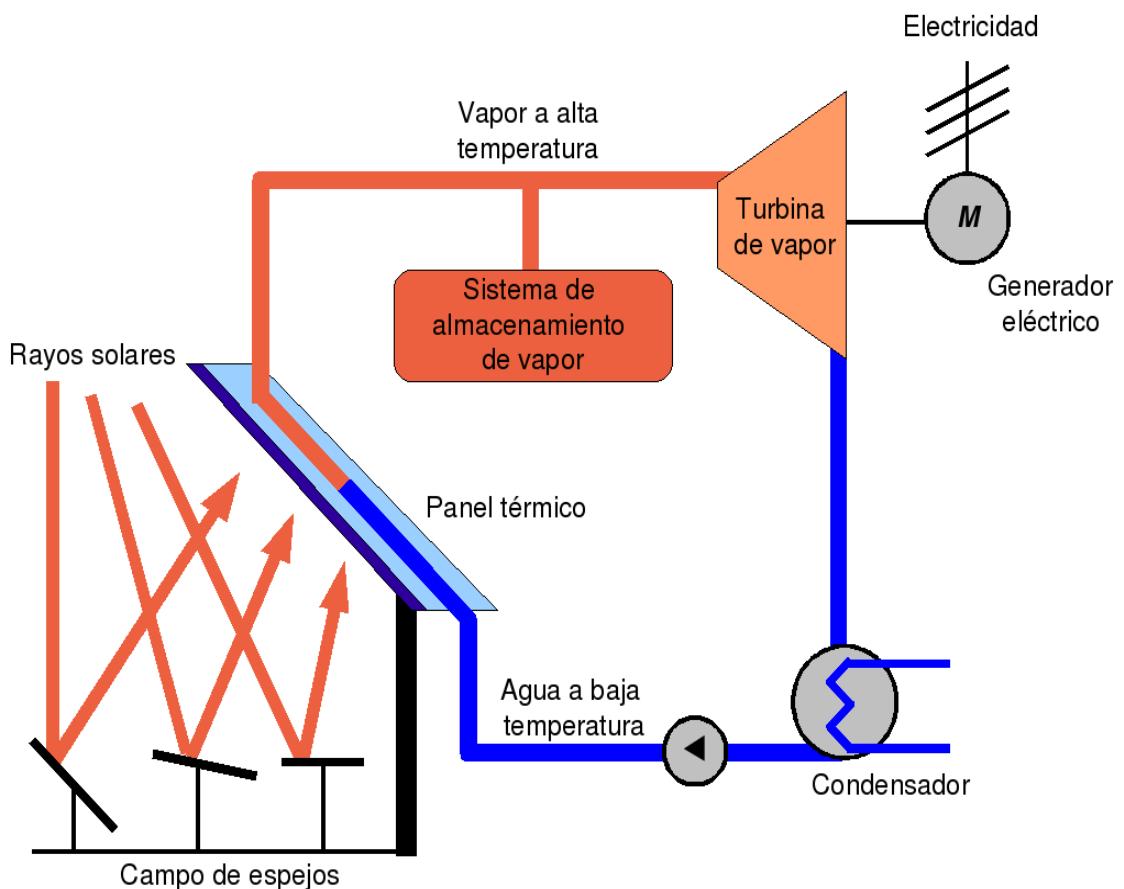
EUROPEAN COMMISSION
DIRECTORATE-GENERAL
Joint Research Centre



PVGIS © European Communities, 2001-2007
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Energía térmica de alta temperatura

- ✓ Si se desea generar electricidad, las temperaturas requeridas exigen utilizar SISTEMAS DE CONCENTRACIÓN.
- ✓ Los rayos solares inciden sobre el receptor encima de la torre, calentando el fluido térmico. Un ciclo térmico transforma el calor en energía eléctrica.
- ✓ El calor se puede almacenar.
- ✓ En 2018 había en el mundo 5,5 GW.
- ✓ ¡Estos sistemas requieren cielo despejado!!

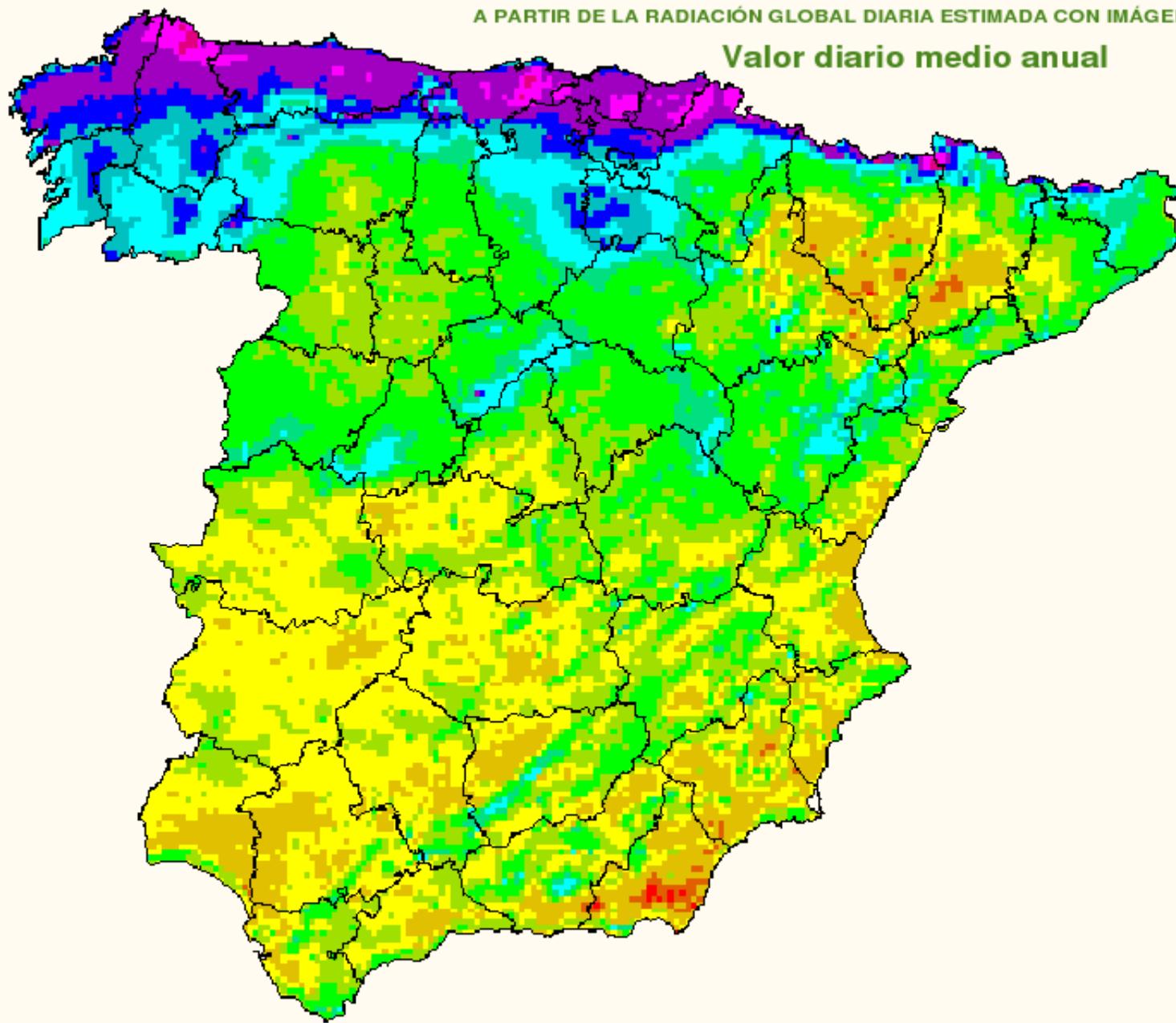


PS-20 (Sevilla). 20 MW

MAPA DE ESPAÑA DE RADIACIÓN DIRECTA NORMAL

A PARTIR DE LA RADIACIÓN GLOBAL DIARIA ESTIMADA CON IMÁGENES DE SATÉLITE

Valor diario medio anual



KWh/m²
día | año

2.1 - 767
2.3 - 840
2.5 - 913
2.7 - 986
2.9 - 1059
3.1 - 1132
3.3 - 1205
3.5 - 1278
3.7 - 1351
3.9 - 1424
4.1 - 1497
4.3 - 1570
4.5 - 1643
4.7 - 1716
4.9 - 1789
5.1 - 1862
5.3 - 1935
5.5 - 2008
No Data

Biomasa y biocombustibles

- ✓ La biomasa es la reina de las energías renovables: se puede almacenar, se puede utilizar para generar electricidad o calor, y muchas de las tecnologías que la utilizan son relativamente simples.
- ✓ 130 GW eléctricos de capacidad en el mundo, en 2018 (581 TWh).



Biomasa y biocombustibles

- ✓ Los biocombustibles son, hoy en día, los únicos sustitutos renovables directos de la gasolina y el gasoil.
- ✓ Los costes son competitivos. Las productividades en los mejores terrenos pueden superar las **2-3 tep/ha·año**, pero a gran escala y de forma sostenible la productividad no puede superar **1 tep/ha·año**.
- ✓ ¡¡Grandes producciones requerirían enormes superficies!!

Caparroso (Navarra)



Si se produjeran biocombustibles intensivamente en Navarra...

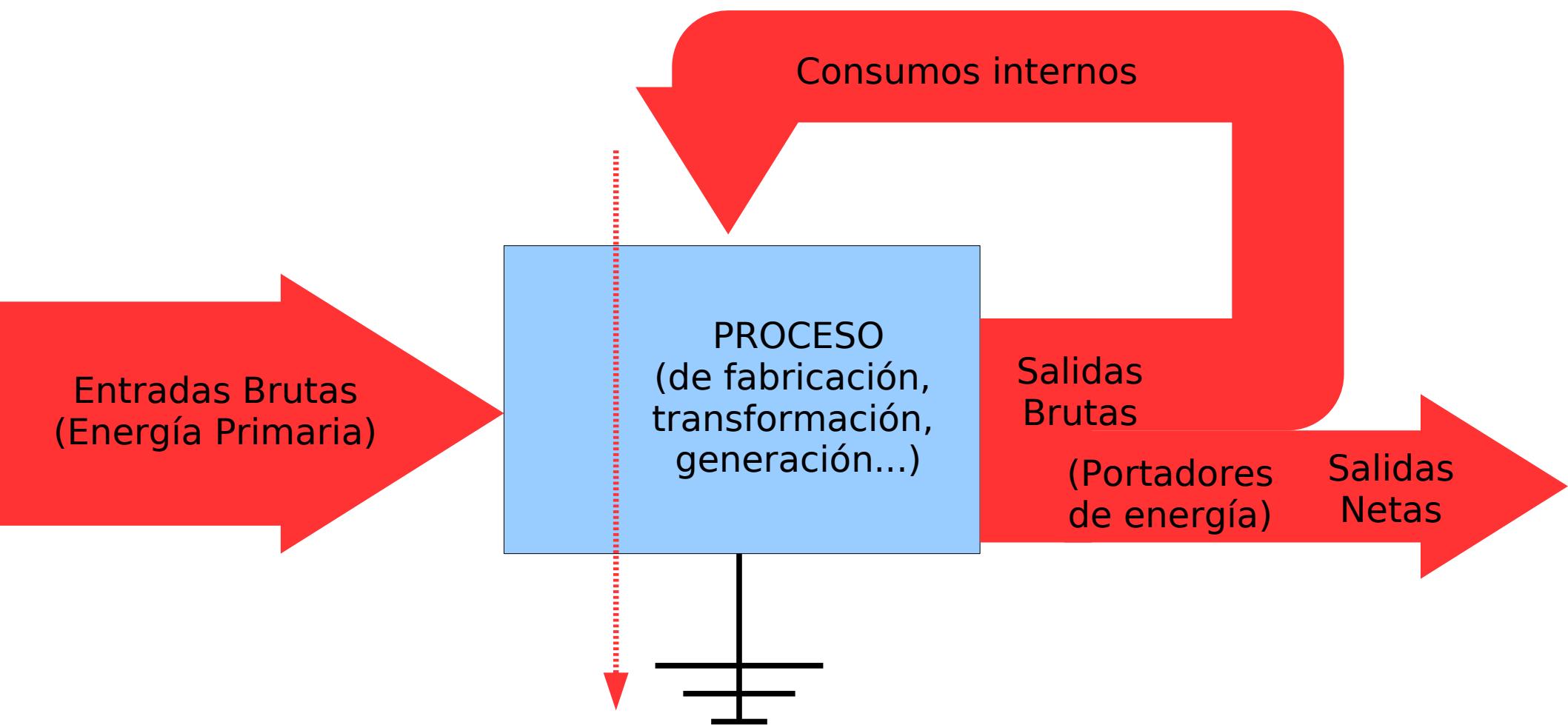
<i>Superficie utilizada</i>	3.000 km² (30 % de la superficie de la Comunidad foral)
<i>Productividad</i>	1 tep/ha·año
<i>Producción</i>	0,3 millones tep
<i>Consumo en transporte en la CAV (2004)</i>	1,7 millones tep

¡¡El consumo es absolutamente desmesurado!!

Biomasa y biocombustibles

Desde el punto de vista energético...

$$\text{Energía primaria} > \text{Salida Bruta} = \text{Salidas Netas} + \text{Consumo}$$
$$EP > SB = SN + C$$



$$\text{Energy Returned on Energy Invested (EROEI)} = \frac{\text{Salidas Brutas}}{\text{Consumo del proceso}} = \frac{SN + C}{C}$$

$$\text{Net Energy Gain (NEG)} = \frac{SN}{C} = EROEI - 1$$

Biomasa y biocombustibles

Cuestiones a tener en cuenta:

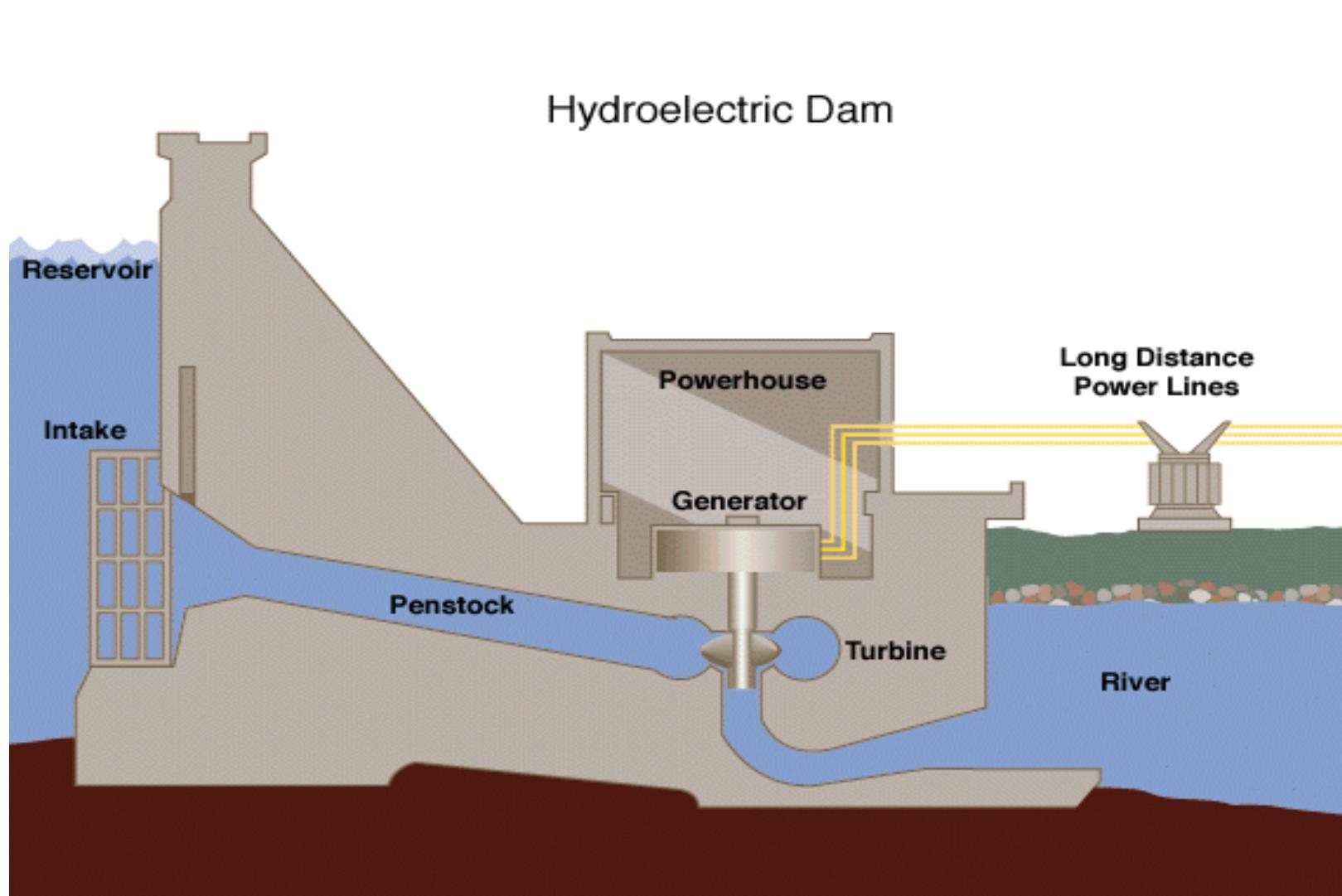
- ✓ EROEI y NEG miden la eficiencia energética de un proceso. Cuanto mayores son los consumos del proceso, menores son EROEI y NEG (rentabilidad energética).
- ✓ Algunos valores de referencia:

Portador de energía	EROEI
Petróleo en EE UU, año 1930	100
Petróleo en el mundo, año 1999	35
Electricidad eólica	18
Electricidad fotovoltaica	15
Petróleo de esquistos, arenas asfálticas y bituminosas	2-5

- ✓ Energéticamente, no es rentable obtener un portador de energía mediante un proceso que presenta un EROEI inferior a la unidad, o NEG negativo.
- ✗ Muchos biocombustibles industriales presentan EROEI inferiores a 2 (e inferiores a 1 en algunos casos).

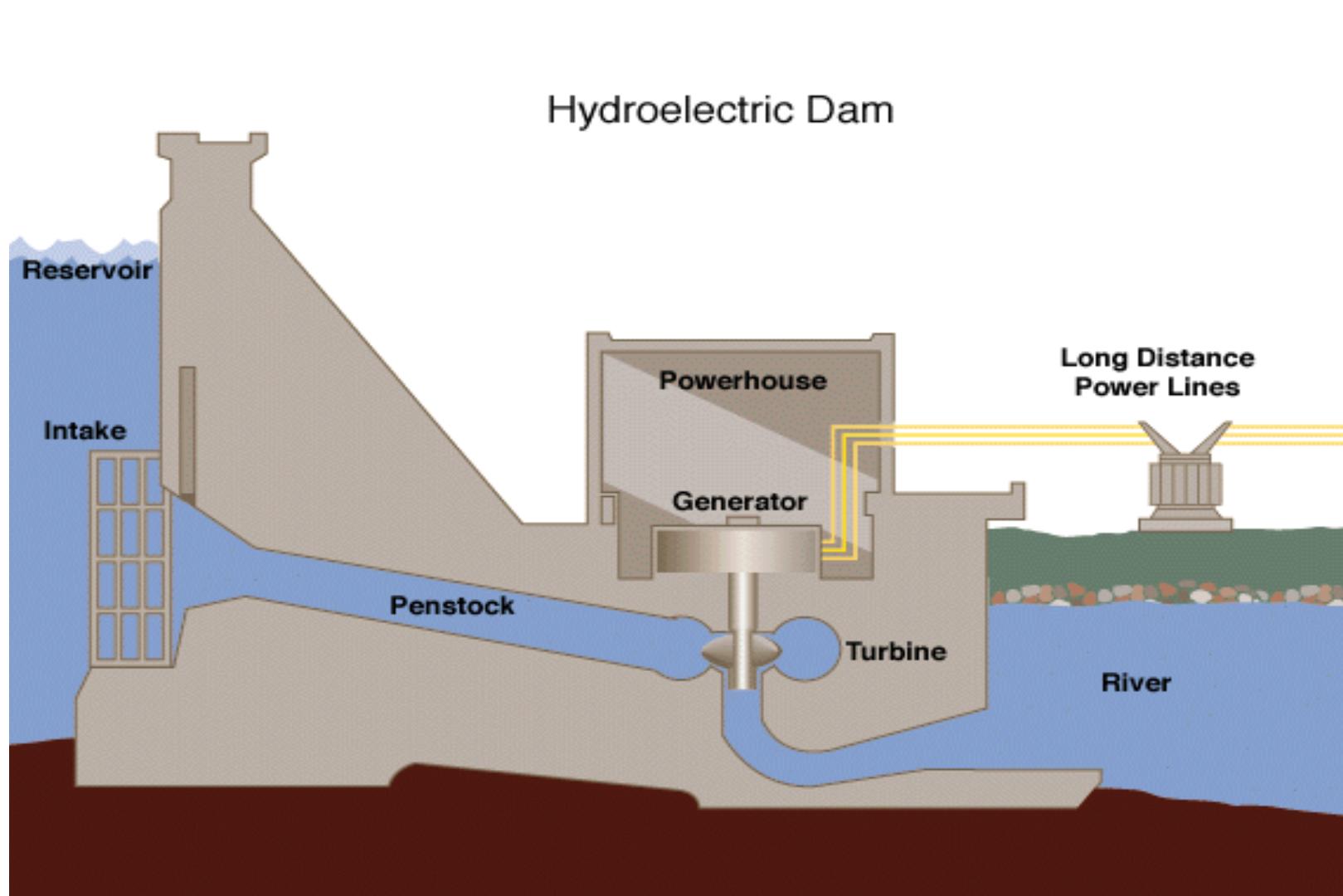
Energía hidroeléctrica

La energía de los ríos tiene un potencial enorme para generar electricidad. Las mayores centrales eléctricas del mundo son centrales hidroeléctricas. Pero el potencial es limitado, y además el agua tiene también otros usos.



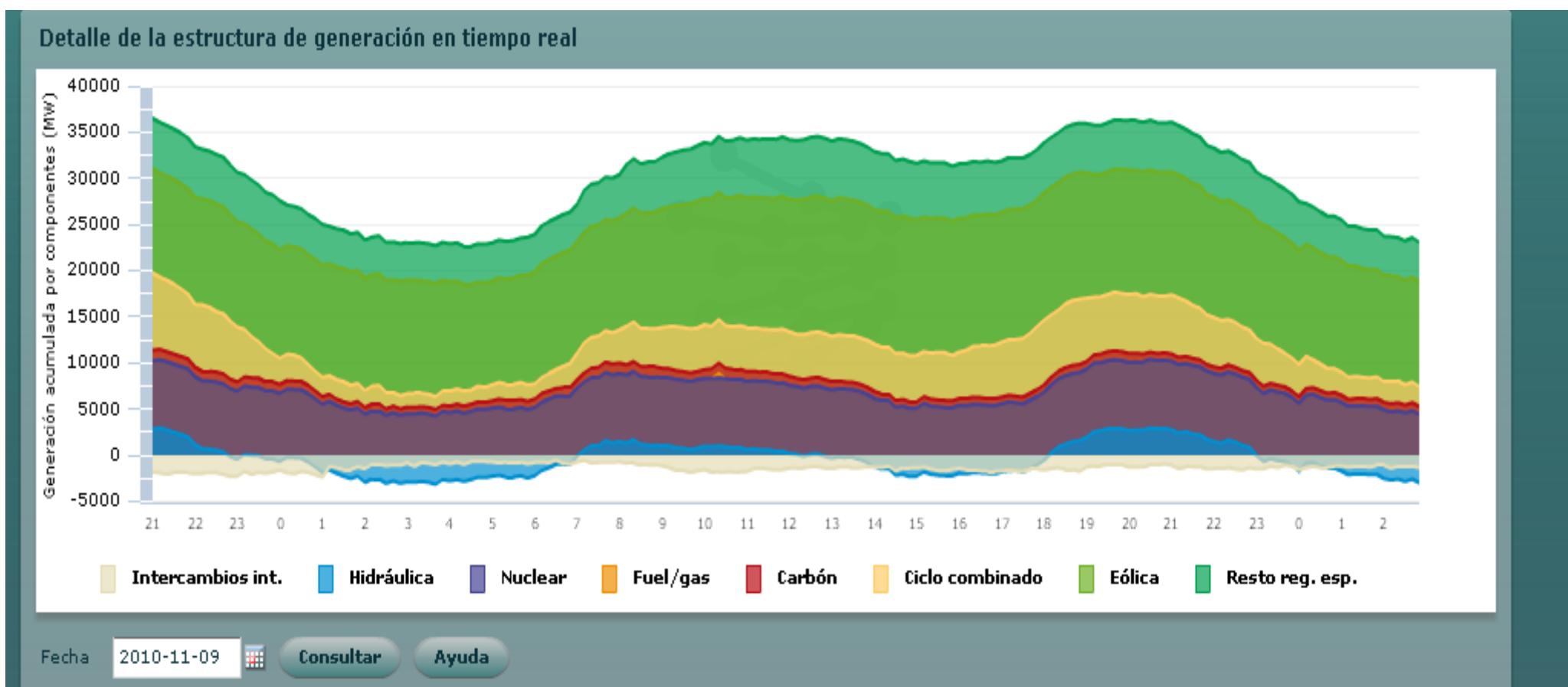
Energía hidroeléctrica

La energía de los ríos tiene un potencial enorme para generar electricidad. Las mayores centrales eléctricas del mundo son centrales hidroeléctricas. Pero el potencial es limitado, y además el agua tiene también otros usos. En 2018, 1132 GW produjeron el 16% de la electricidad en el mundo.



Energía hidroeléctrica

En la actualidad hay una capacidad de 160 GW hidroeléctricos reversibles (14% del total). Esta capacidad reversible permite llenar los embalses de agua cuando hay un excedente de electricidad en la red, por ejemplo en las horas valle durante la noche, cuando las centrales hidráulicas de bombeo consumen energía eléctrica para elevar agua desde el vaso inferior de la central al superior.



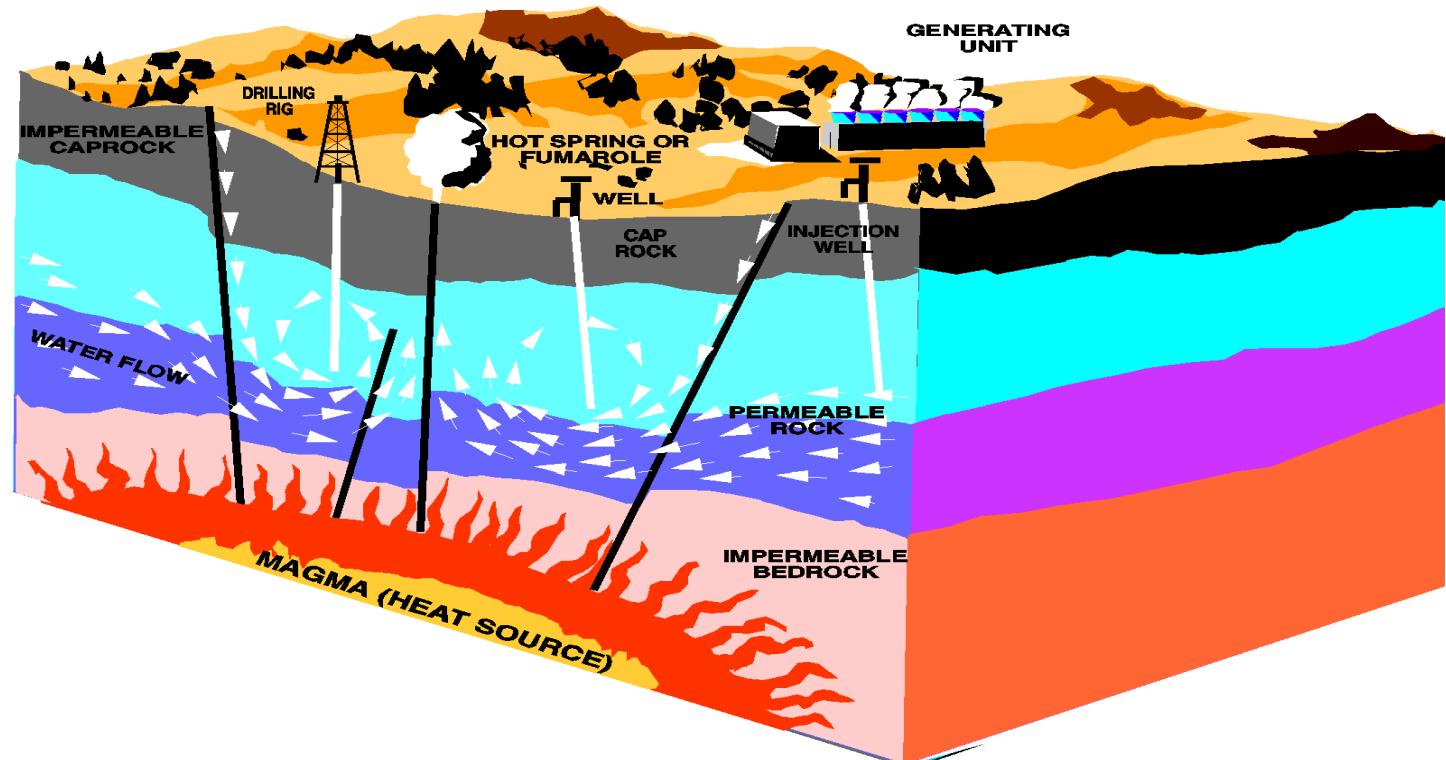
Generación de bombeo en la red eléctrica de España entre la una y las siete de la mañana del 9 de noviembre de 2010 (Fuente: REE).

Energía geotérmica

Los sistemas geotérmicos utilizan el calor del subsuelo para proporcionar calefacción y agua caliente (26 GW en el mundo en 2018), y a veces electricidad (13,3 GW, sistemas de alta temperatura).

Estos sistemas son muy utilizados en algunos países (Islandia, Italia, Tibet...): en Islandia la energía geotérmica suministra más del 80 % de las necesidades de calefacción, y genera el 26 % de la energía eléctrica del país.

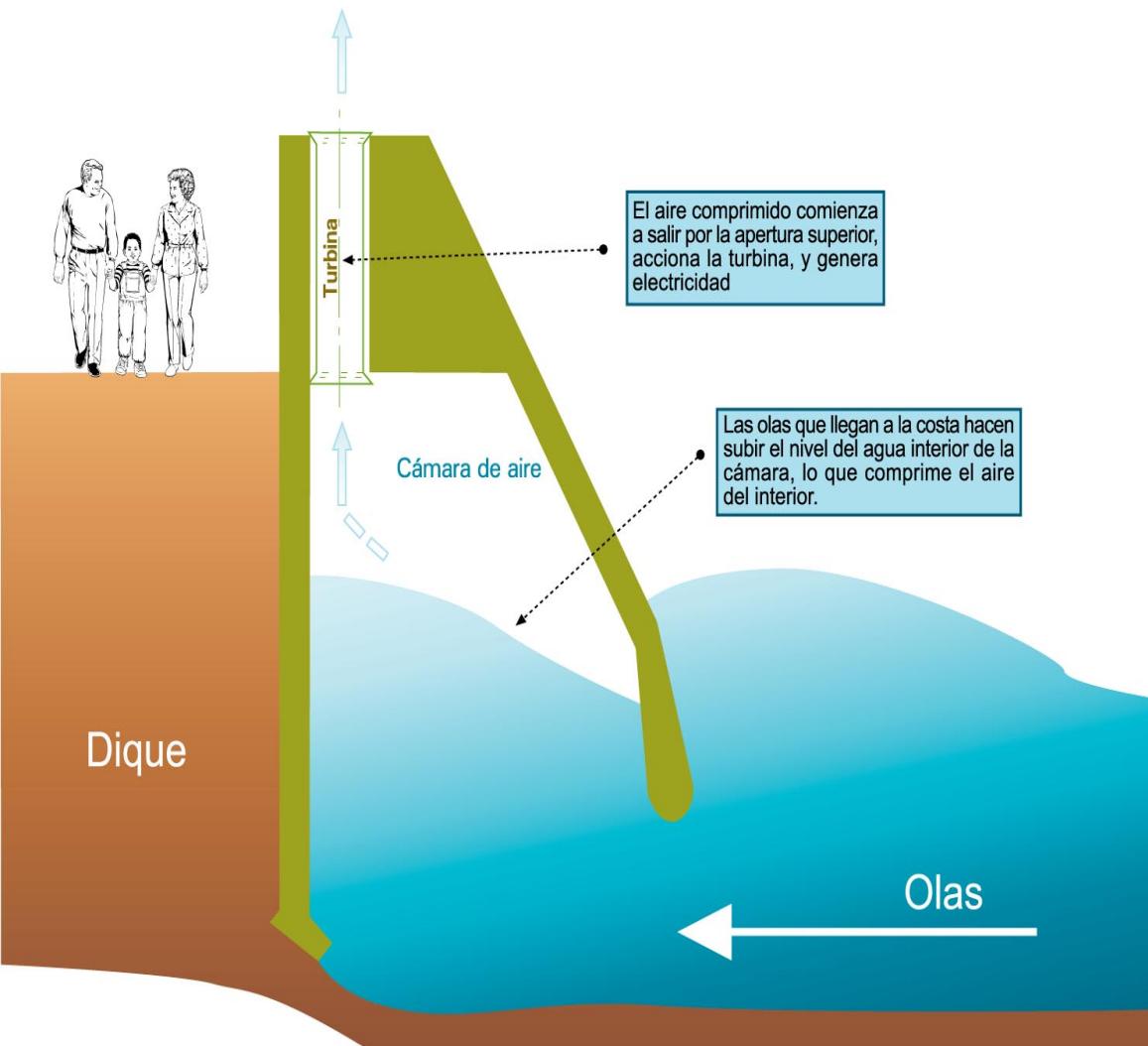
Los sistemas geotérmicos de baja entalpía están popularizándose en algunos países (Alemania, Euskal Herria...). El origen del calor es fundamentalmente solar, y la potencia disponible limitada (10 a 40 W/m²).



Energía marina

Los molinos de marea son explotados desde la antigüedad. En la actualidad hay 530 MW instalados en el mundo, para generar electricidad (en la Bretaña francesa hay instalada una central de 240 MW).

El EVE tiene instalada una planta de 480 kW en el puerto de Mutriku.



Energía de las olas en Mutriku

Potencia eléctrica	480 kW
Generación anual	970 MWh
Factor de carga	23%
Inversión	3,5 M€
Coste	7,3 €/W

Elementos del nuevo escenario energético:

- ✗ La energía será cada vez más cara;
un escenario de escasez energética es inevitable.
- ✗ Los combustibles fósiles seguirán siendo fundamentales.
Debemos consumirlos *de forma sostenible*.
- ✗ Los flujos de energía renovable implican
otro paradigma de generación y consumo de energía:
 - ✗ El consumo de energía no puede crecer indefinidamente.
 - ✗ La mezcla energética deberá ser mucho más variada que la actual.
 - ✗ La electricidad de origen renovable tendrá un peso muy importante.
 - ✗ La electrificación del transporte es otra de las claves del futuro.
 - ✗ No esperemos grandes “revoluciones energéticas”
(hidrógeno, fusión, ...).
- ✗ Una explotación masiva e intensa de los flujos renovables
supone un reto tecnológico de dimensiones gigantescas:
la gestión de la red eléctrica, almacenamiento de la electricidad,
evaluación de los impactos y de la sostenibilidad (biomasa).

El nuevo escenario plantea un cambio de paradigma:

✗ Encrucijadas:

- ✗ ¿soluciones globales o soluciones locales?
- ✗ ¿soluciones de pequeña o gran escala?
- ✗ aumentar el bienestar sin aumentar el impacto.

- ✓ Es inevitable una reducción drástica de los niveles de consumo.
Debemos potenciar las cuatro erres: Reducir, Reutilizar, Reparar, Reciclar.
- ✓ Algunos elementos del paradigma socioeconómico dominante requieren un replanteamiento: movilidad, globalización, internacionalización, productividad...
- ✓ Es necesario un profundo replanteamiento de la sociedad de consumo, del concepto de bienestar, de lo que entendemos por “buena vida”.
- ✓ Los sacrificios deben repartirse con justicia.

Y para acabar....

“De cara a la transición energética del tercer milenio, no necesitamos fuentes de energía alternativas que mantengan vivo un patrón de crecimiento económico obsoleto. Lo que necesitamos es otro patrón de desarrollo alternativo que haga posible el uso de fuentes de energía alternativas.”

Mario Giampietro & Kozo Mayumi, 2009,
The Biofuel Delusion (pág. 256-257)

“La campaña contra el cambio climático es una campaña extraña. Al contrario de la mayoría de las campañas que la han precedido, esta campaña no persigue la abundancia, sino la austeridad. Esta campaña no persigue más libertad, sino menos. Lo más extraño de todo, esta campaña no es una campaña solo en contra de otras personas, sino también en contra de nosotros mismos.”

George Monbiot, 2007, *Heat* (pág. 215)