Alternativas Energéticas al Desarrollo

Cayetano López

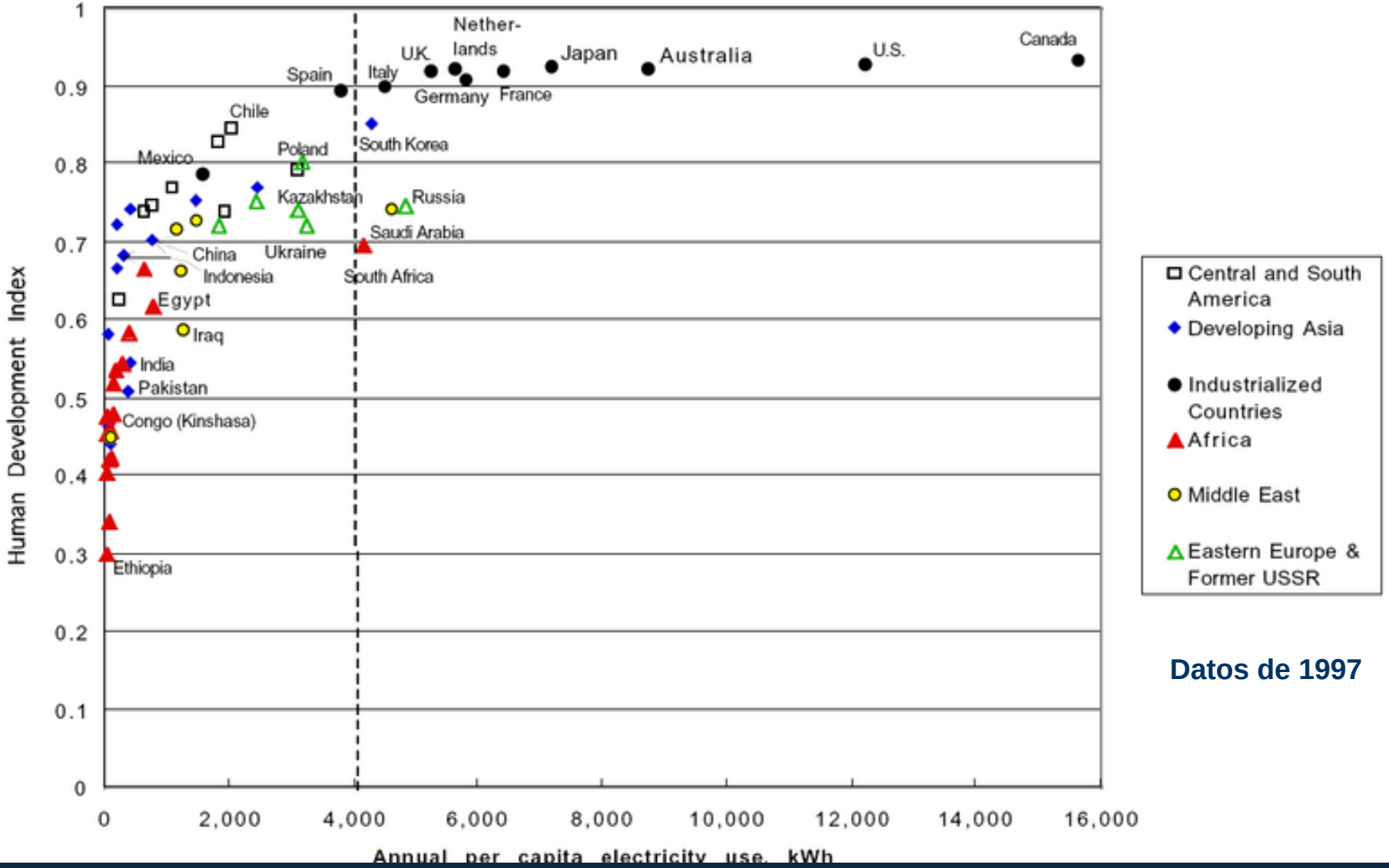
Director General Adjunto, CIEMAT

Salamanca, Octubre de 2006

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA

Ciemat Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

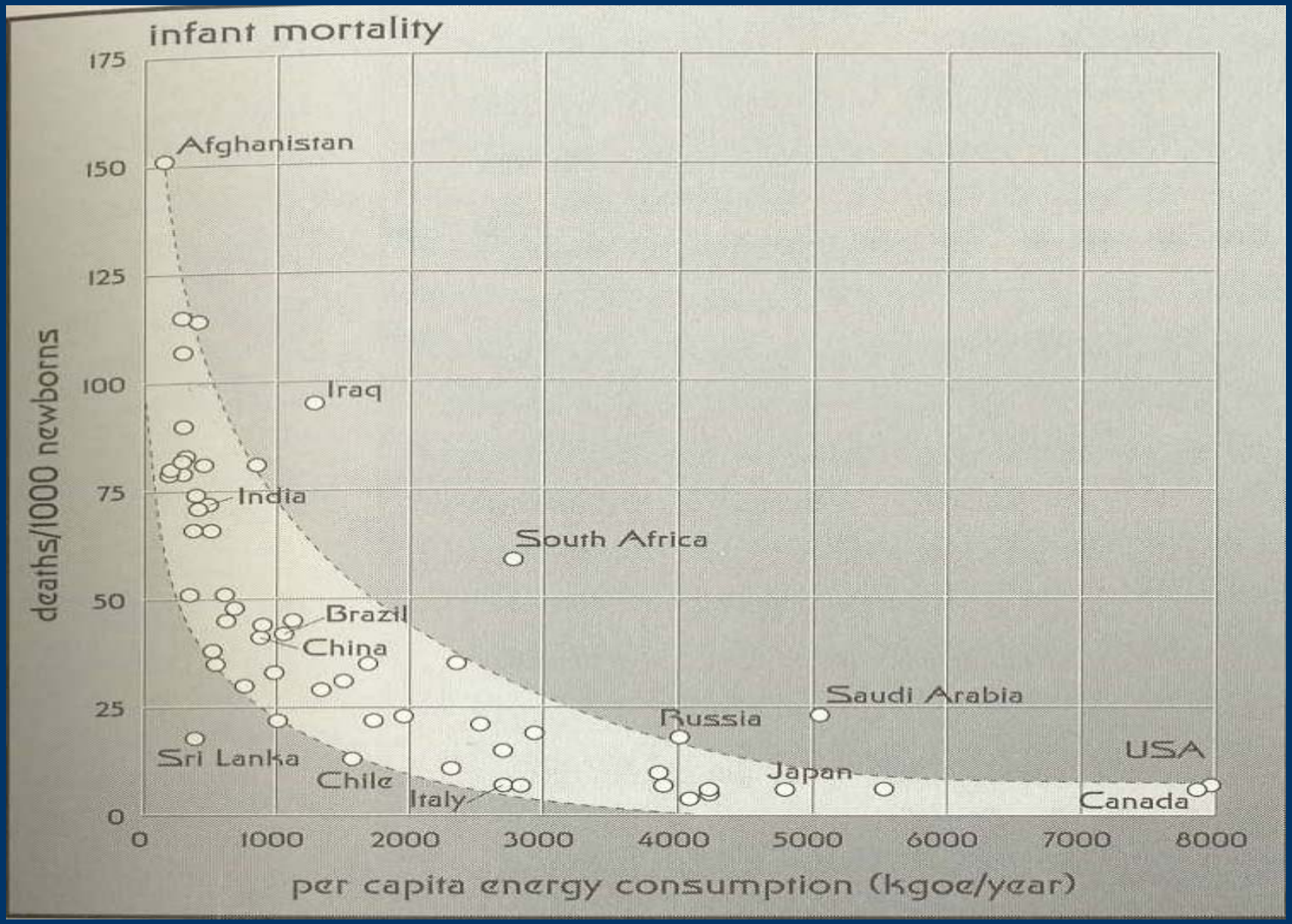
Consumo de energía y bienestar



Datos de 1997

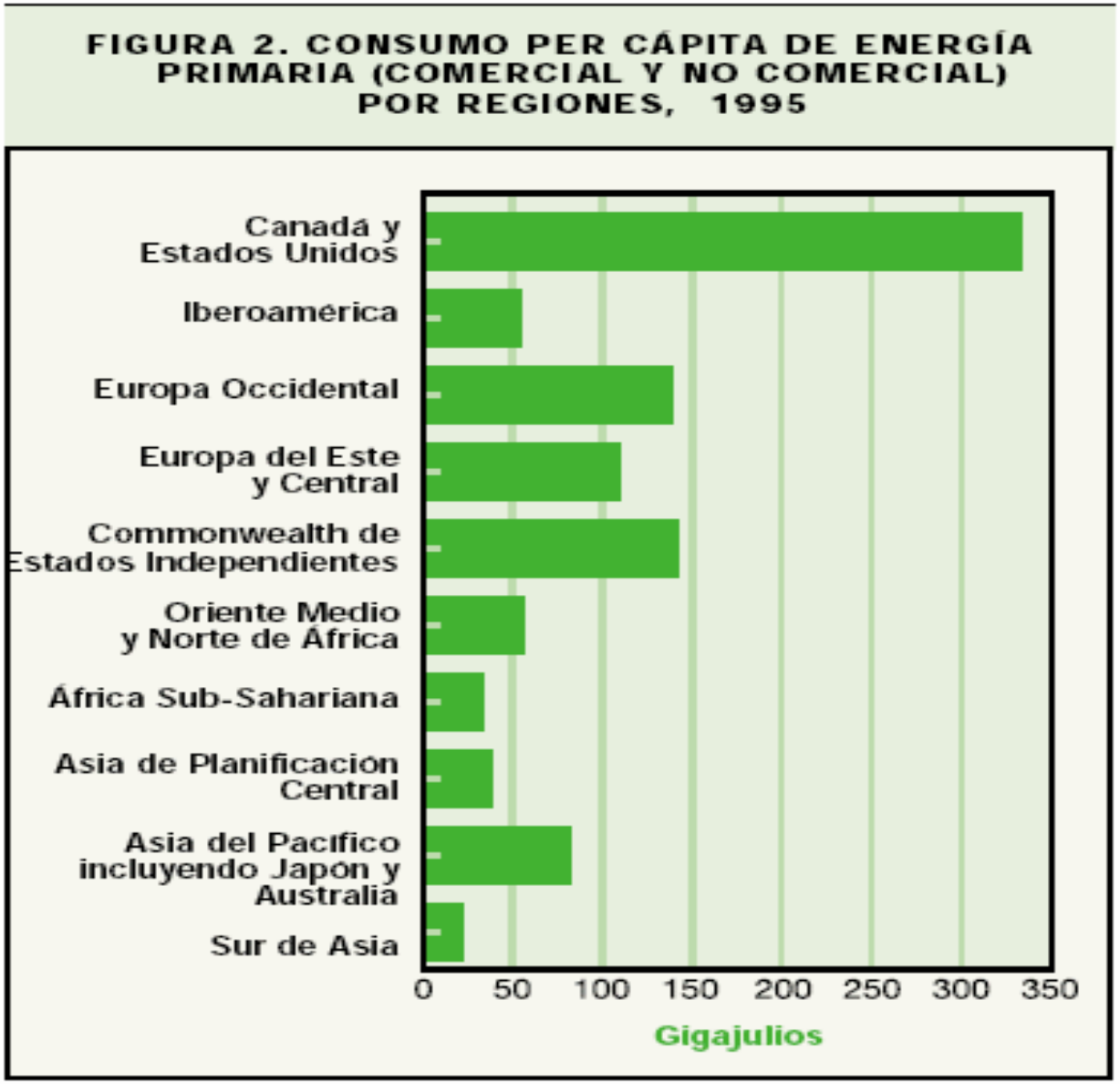
Figure 1.2. Human development index vs. per capita electricity use for selected countries. Taken from S. Benka, *Physics Today* (April 2002), pg 39, and adapted from A. Pasternak, Lawrence Livermore National Laboratory rep. no. UCRL-ID-140773.

Consumo de energía y bienestar



UNDP (2001)

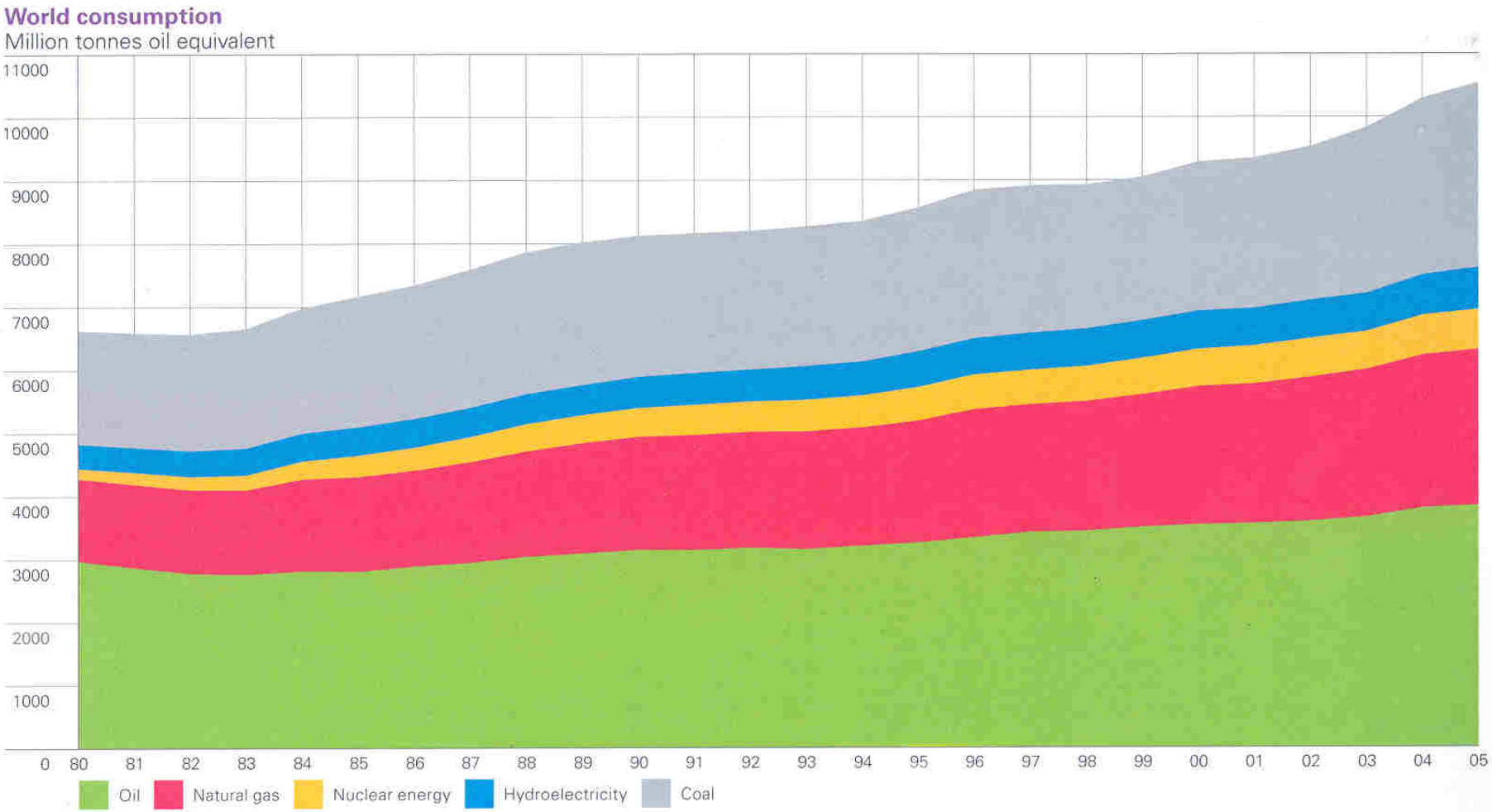
El consumo energético es desigual



Fuente: Banco Mundial, 1997; WRI, 1998.

Consumo de energía primaria en el mundo

1980-2005: + 58 %



Global primary energy consumption growth slowed in 2005 but still exceeded the 10-year average. Asia accounted for nearly three-quarters of global growth, with China alone accounting for more than half. In the past decade, natural gas and coal have increased their shares of the total at the expense of oil, nuclear energy and hydroelectricity.

Hacia 2020-2025:

Escasez y encarecimiento del petróleo

Fin de la vida útil de las centrales nucleares

Futuro?:

Gas Natural: La energía “puente”

Solar + Eólica + Biomasa + otras renovables

Nuevos usos y tratamientos del carbón

Nuevos dispositivos de fisión

Fusión (en ningún caso para esa fecha)

En 10 años la demanda de petróleo crecerá alrededor de un 25 % (2,0 % acumulativo)

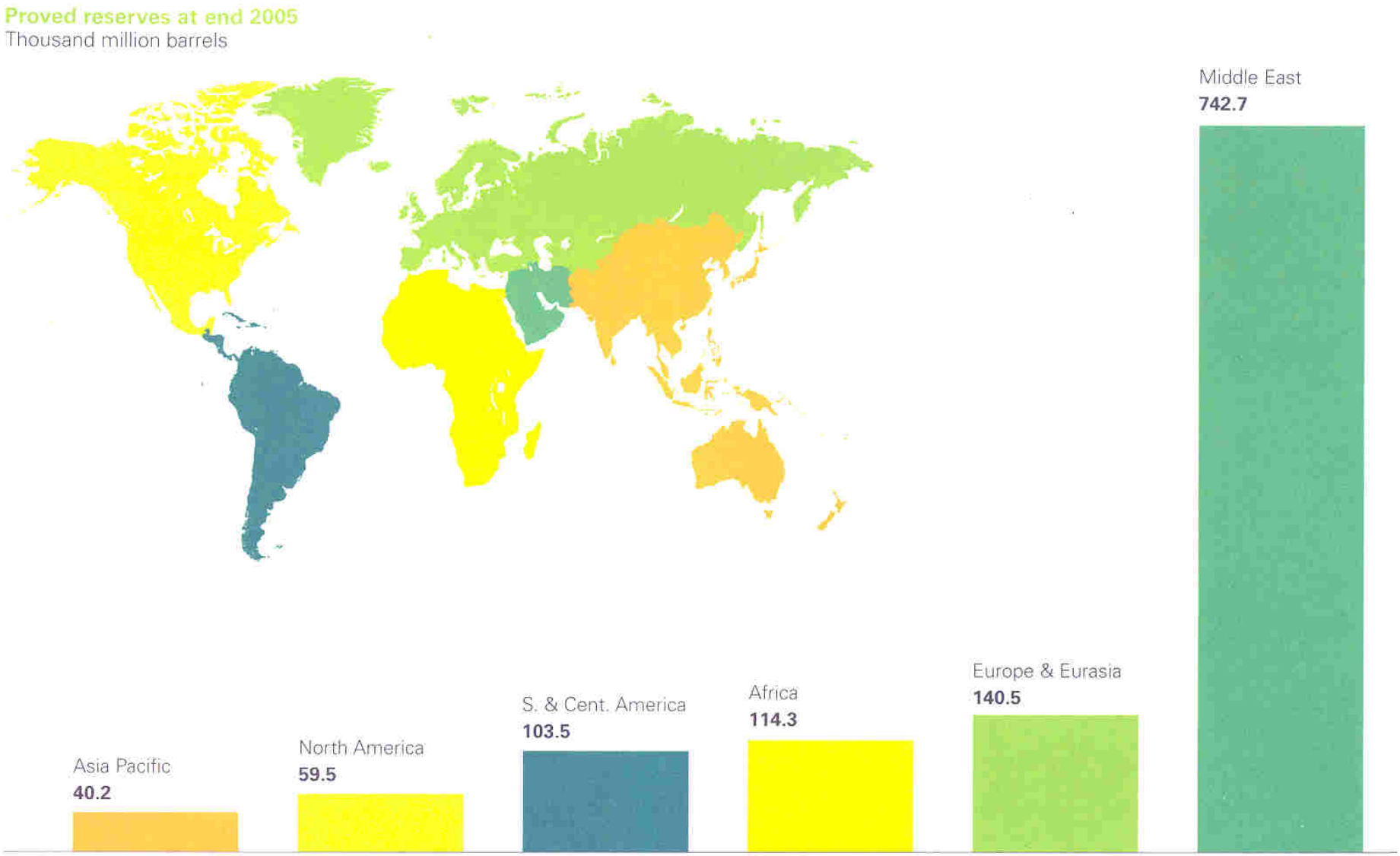
Es decir 20 millones de barriles diarios

A los que habrá que añadir la reposición en la disminución de la producción de los yacimientos actuales (¿cuánto?)

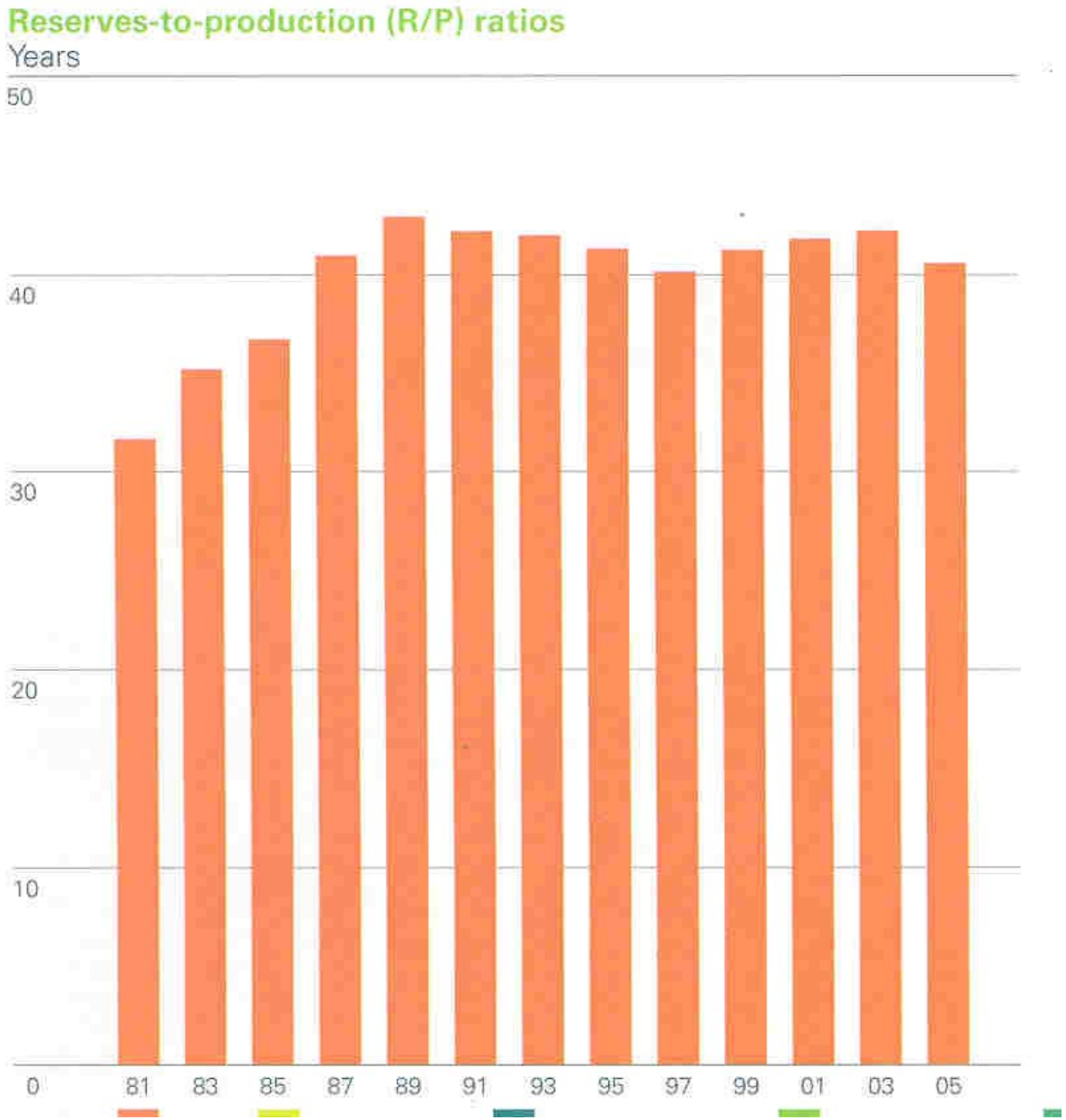
“Capacidad sobrante” en 2005: ~ 1,5 millones de barriles / día

¿de dónde sacarlos?

Petróleo: Problemas de localización de yacimientos

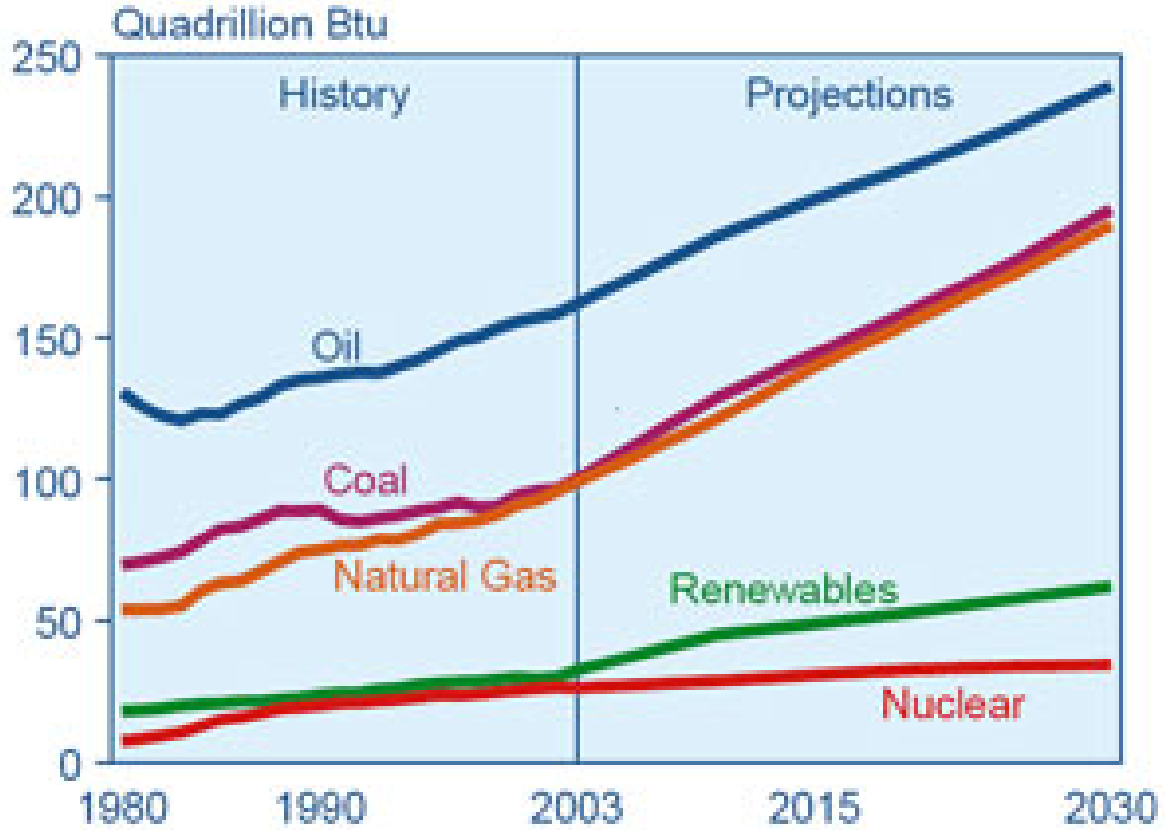


Petróleo: problemas de escasez



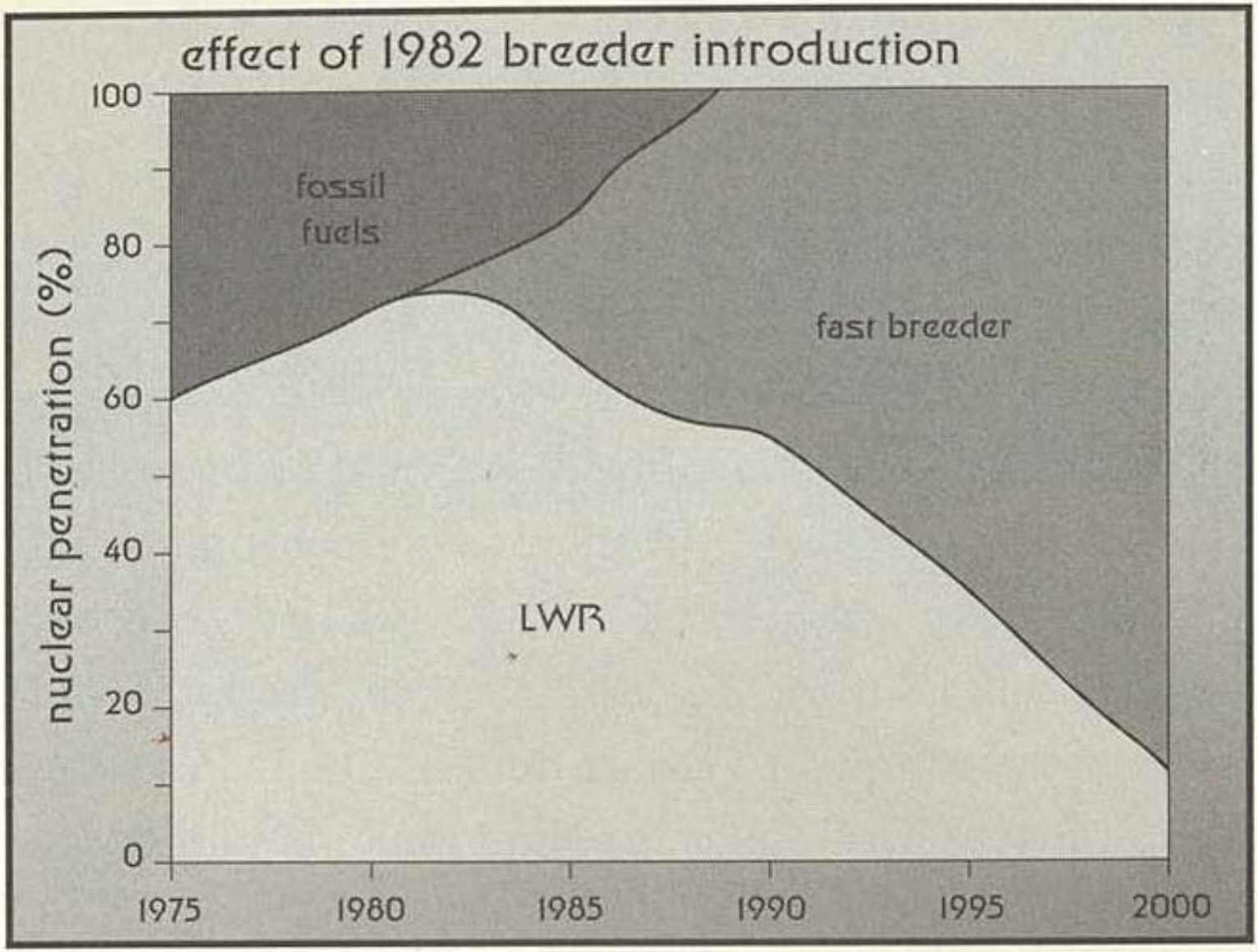
Previsiones sobre el consumo de energía (AIE)

Figure 3. World Marketed Energy Use by Energy Type, 1980-2030



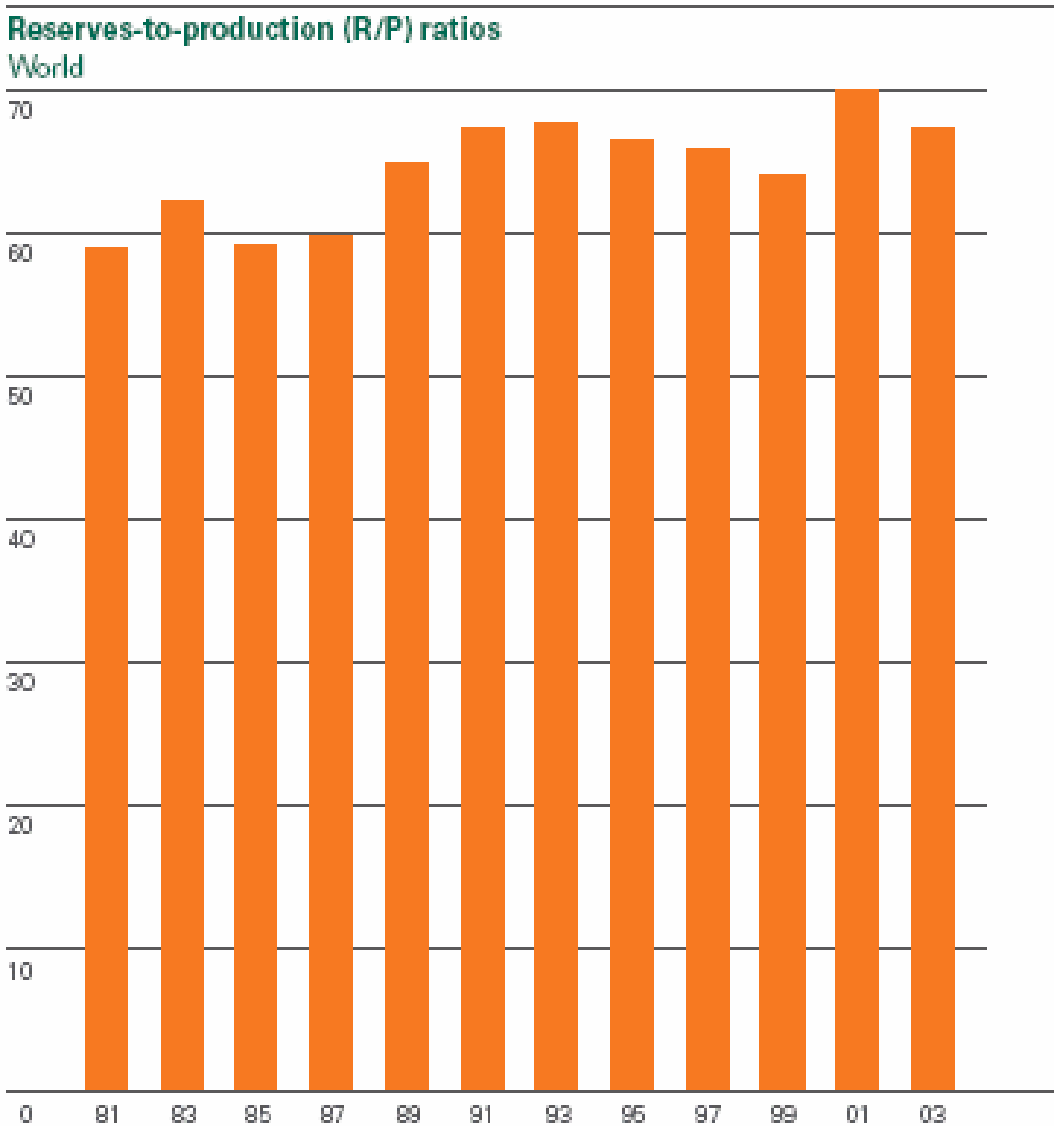
Sources: **History:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2003* (May-July 2005), web site www.eia.doe.gov/iea/. **Projections:** EIA, System for the Analysis of Global Energy Markets (2006).

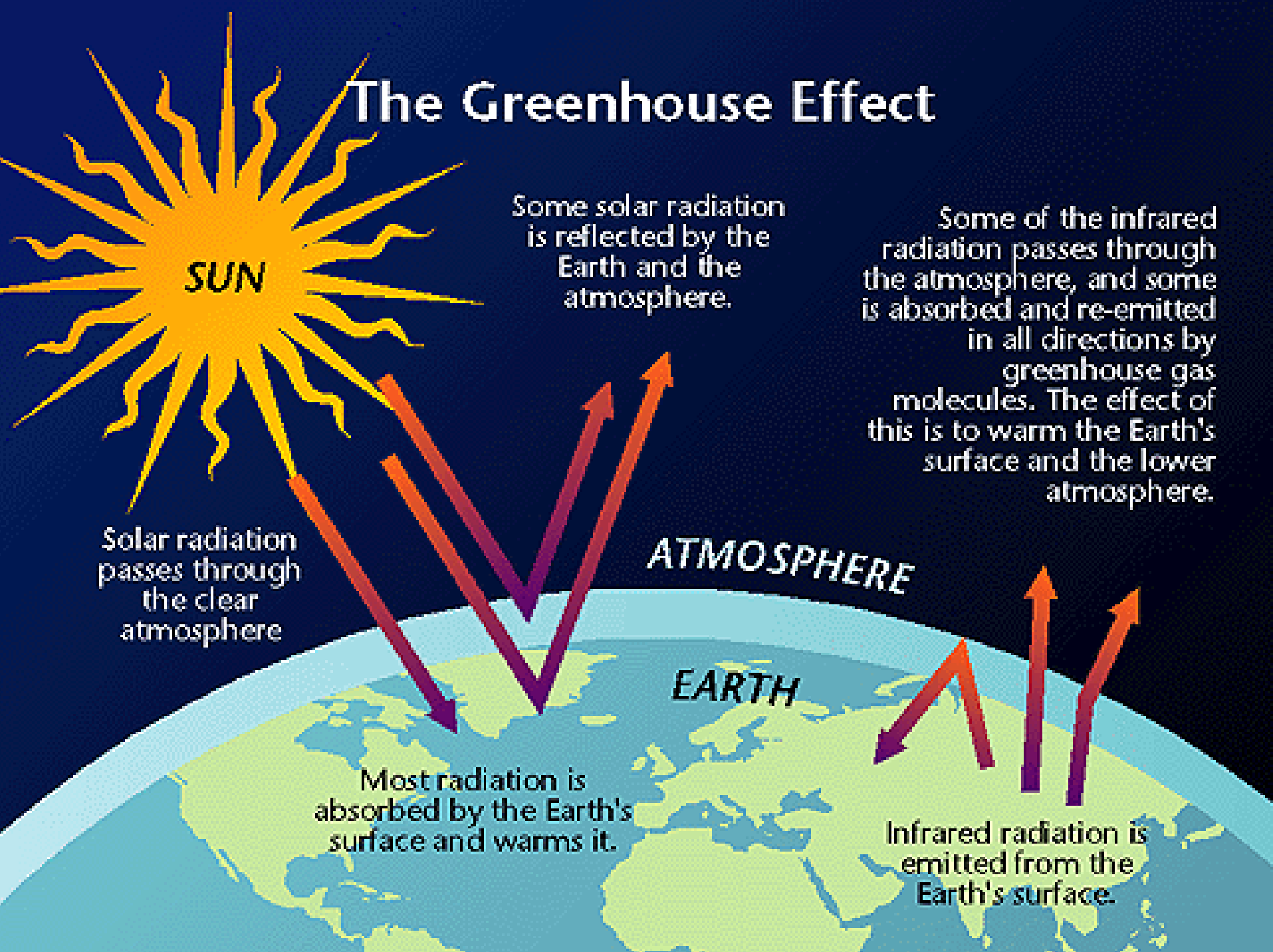
Una interesante predicción



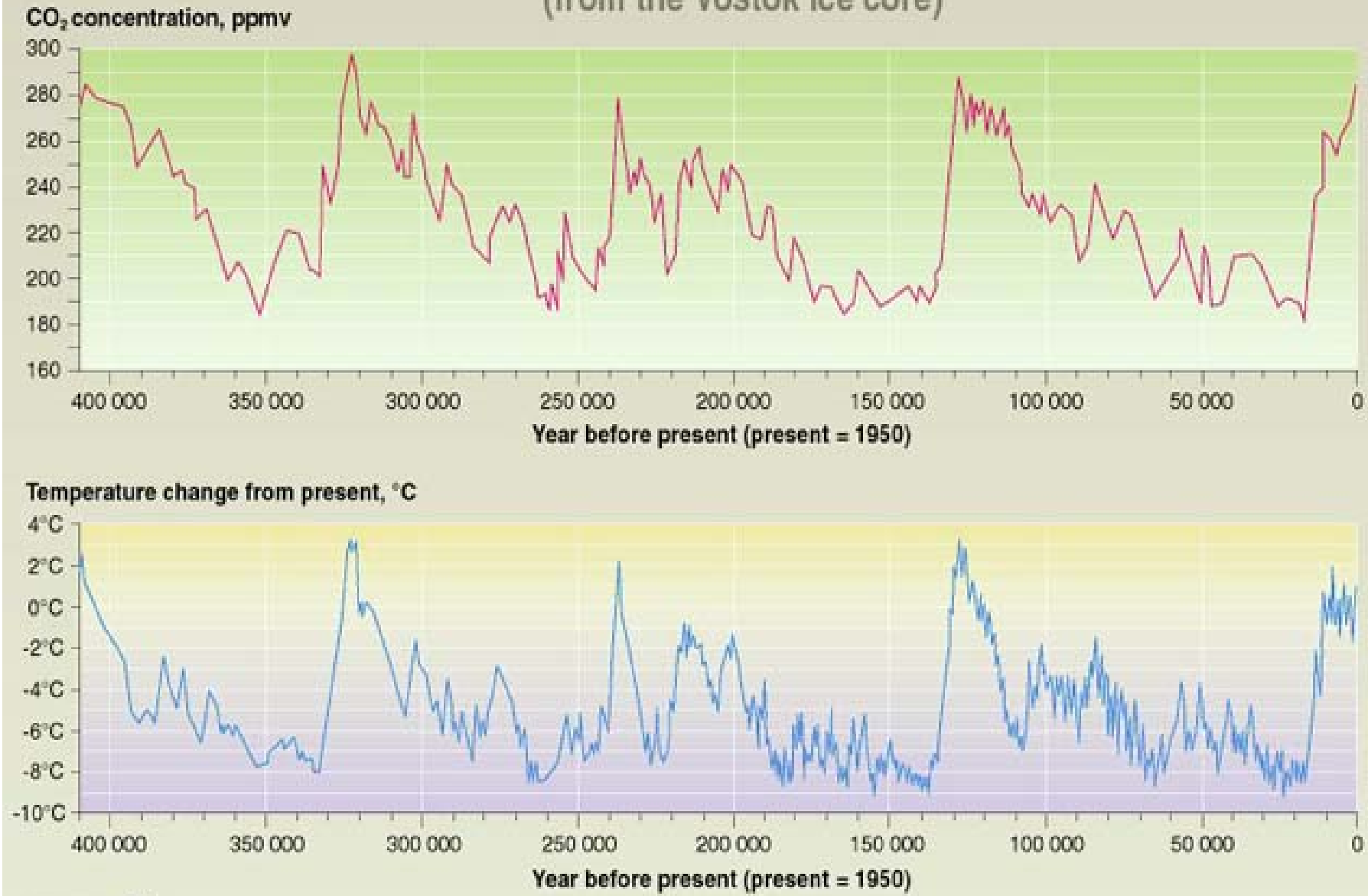
Murphy, GE (1974)

Gas: Menor escasez que el petróleo




The Greenhouse Effect
SUN
Some solar radiation is reflected by the Earth and the atmosphere.
Some of the infrared radiation passes through the atmosphere, and some is absorbed and re-emitted in all directions by greenhouse gas molecules. The effect of this is to warm the Earth's surface and the lower atmosphere.
Solar radiation passes through the clear atmosphere
ATMOSPHERE
EARTH
Most radiation is absorbed by the Earth's surface and warms it.
Infrared radiation is emitted from the Earth's surface.

Temperature and CO_2 concentration in the atmosphere over the past 400 000 years (from the Vostok ice core)

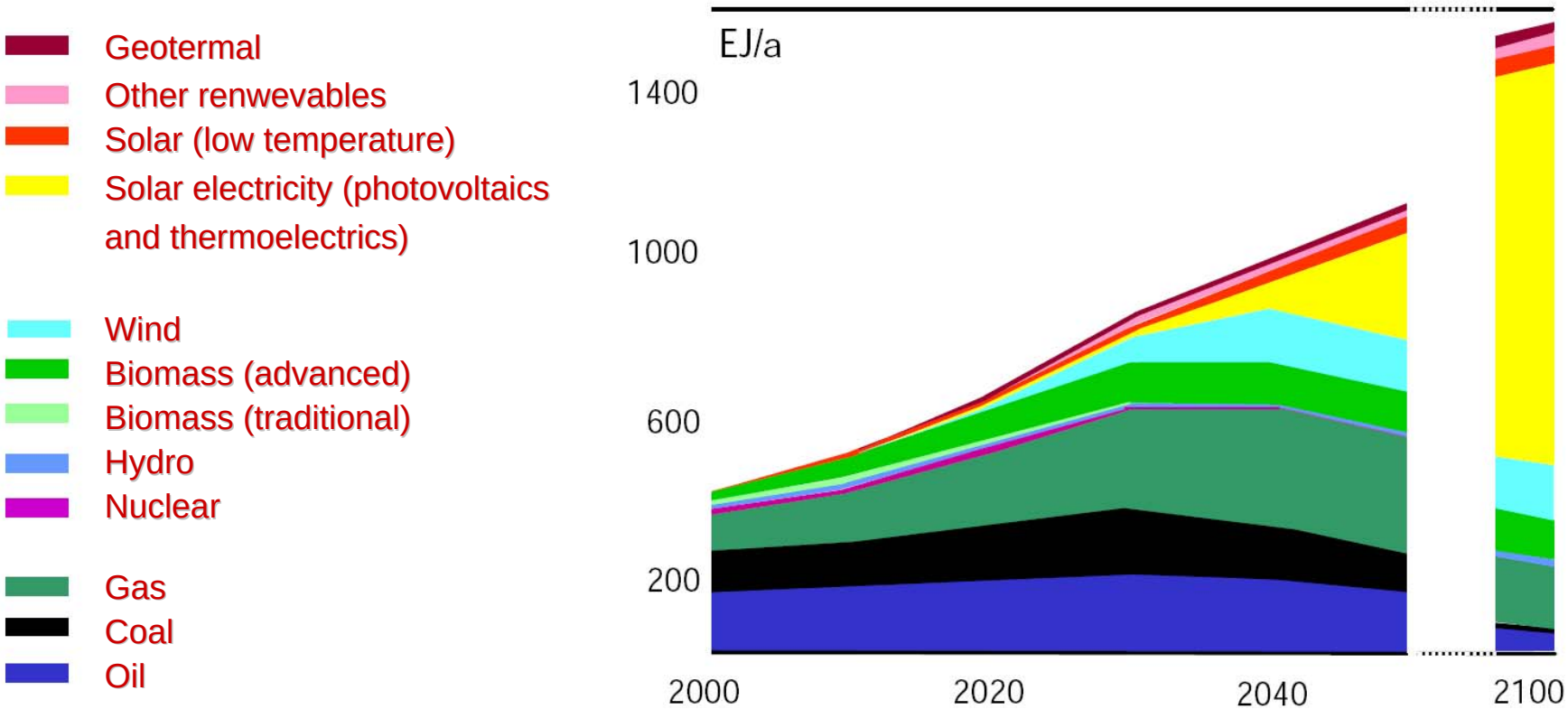


Source: J.R. Petit, J. Jouzel, et al. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core in Antarctica, Nature 399 (3JUne), pp 429-436, 1999.

Emisiones específicas de CO_2

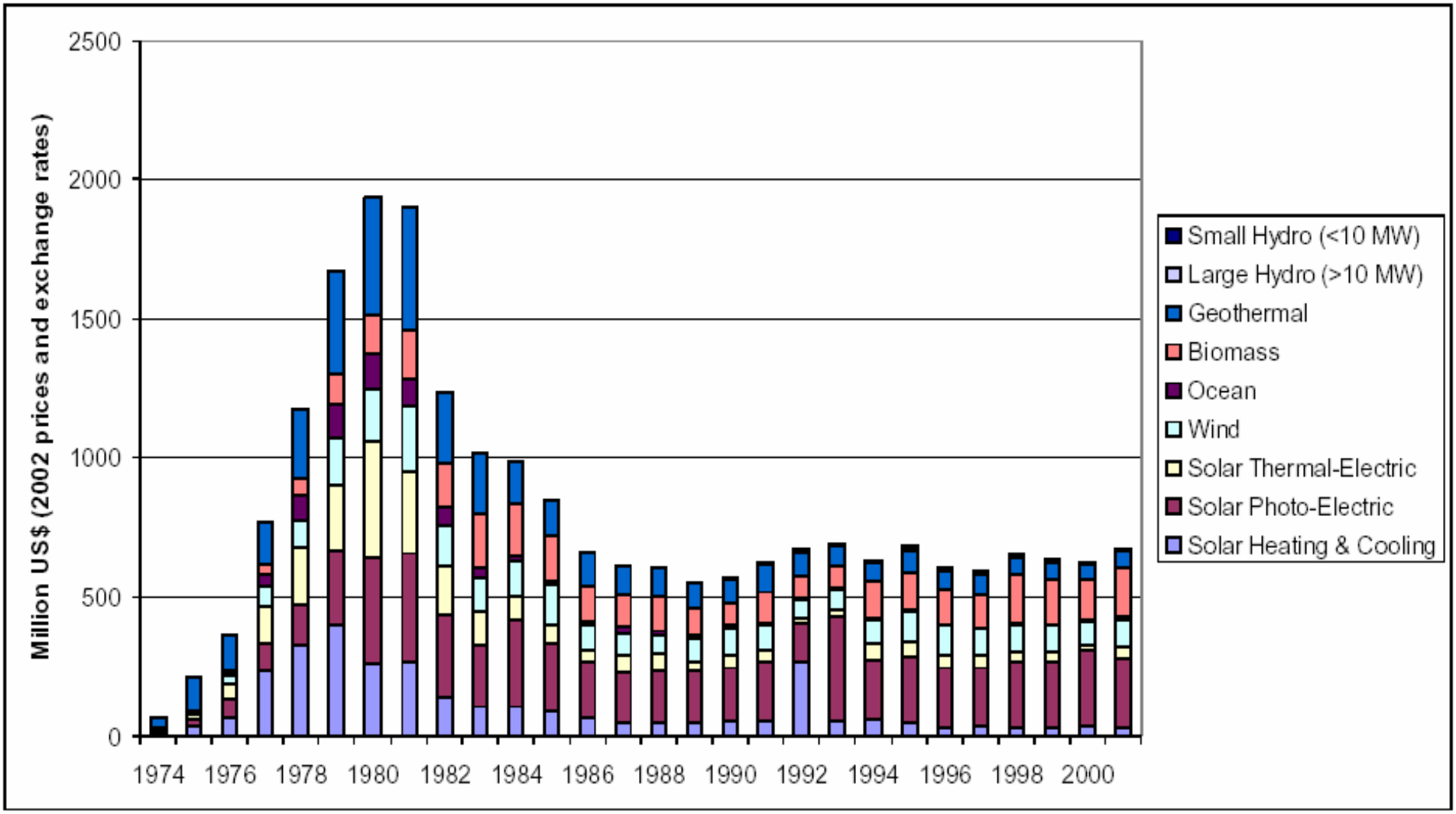
COMBUSTIBLE	EMISION (kg CO2/ GJ)	EMISION (g CO2/ kWhe)
Gas Natural	53.0	540
Fueloil	78.0	800
Hulla	92.0	940
Antracita	96.3	990
Lignito	111.0	1140

Necesidad de I+D para hacer viables nuevas tecnologías energéticas



Fuente: German Advisory Council on Global Change, 2003, www.wbgu.de

Presupuesto público de I+D+D en renovables en países de la AIE 1974-2002

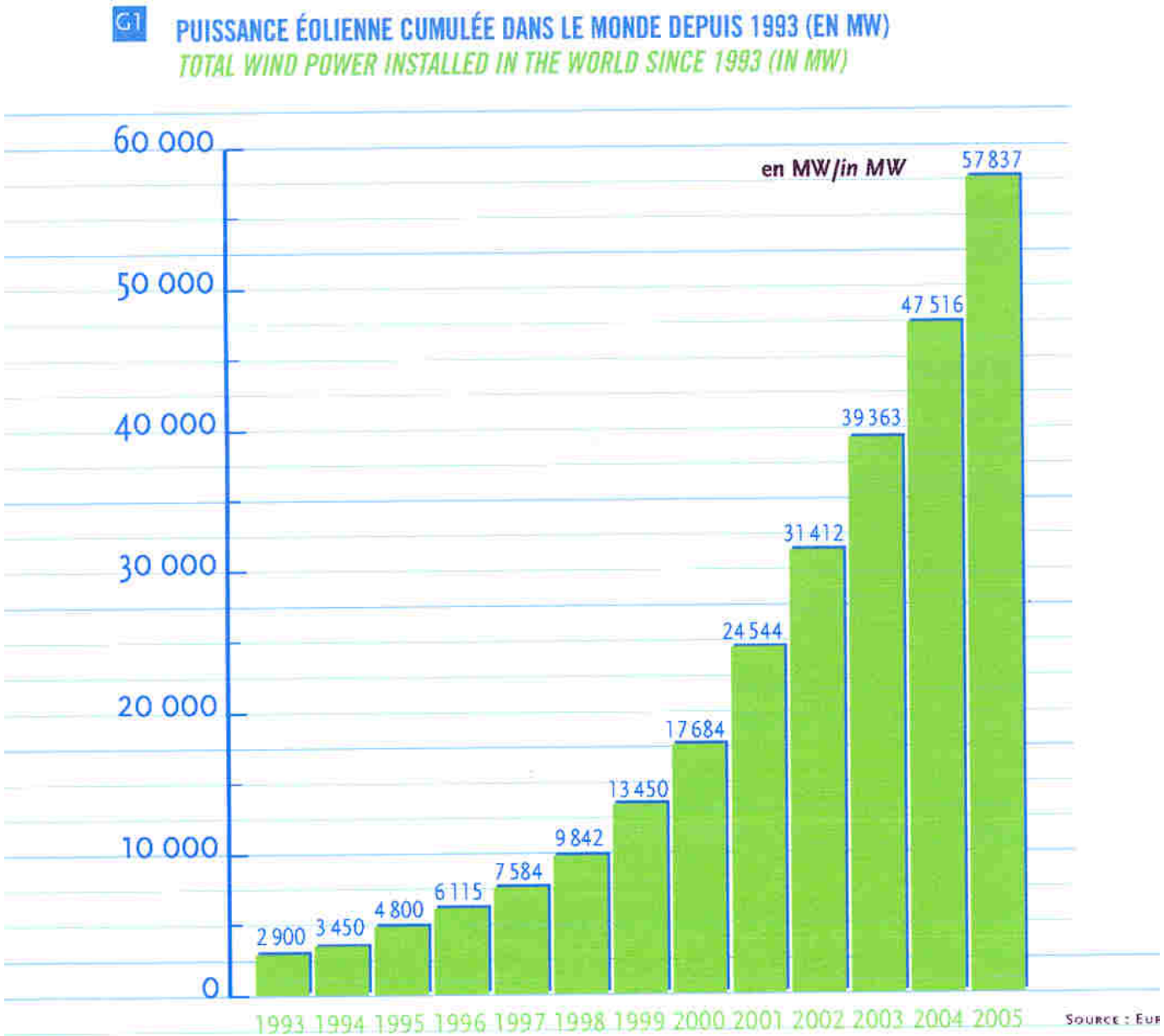


Fuente: AIE

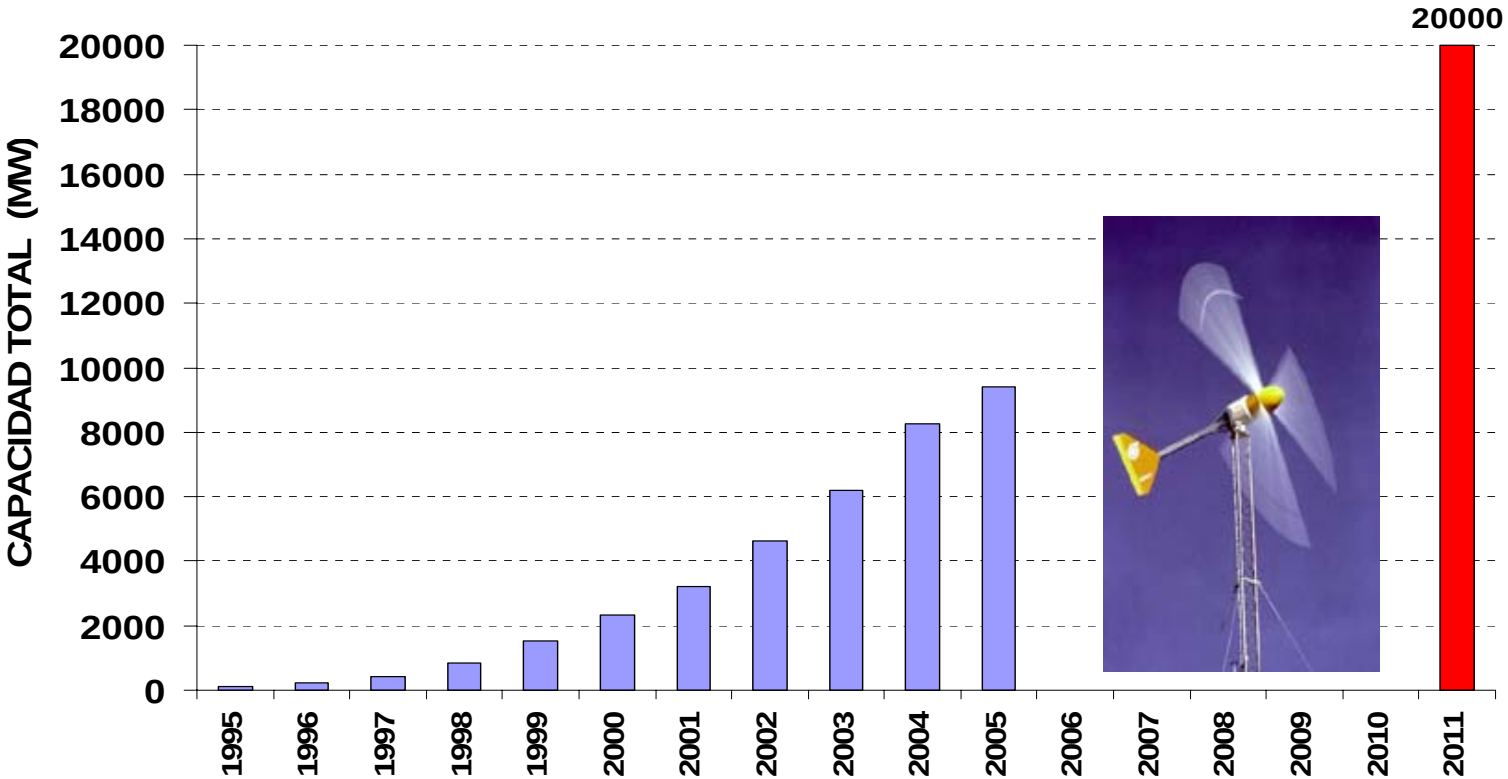
Naturaleza de la fuente de energía renovable	Horas equivalentes al año	Inversión	Gastos de Explotación
Parque Eólico	2.350 h/año	950 €/kW	1,5 c€/kWh
Central Hidroeléctrica (P < 10 MW)	3.100 h/año	1.500 €/kW	1,5 c€/kWh
Central Hidroeléctrica (10 MW < P < 50 MW)	2.000 h/año	700 €/kW	2,1 c€/kWh
Planta Solar Termoeléctrica (P = 50 MW)	2.600 h/año	3.600 €/kW	4,2 c€/kWh
Planta Fotovoltaica (P > 100 kWp)	3.100 h/año	7.600 €/kW	2,6 c€/kWh
Biomasa (Cultivos energéticos)	7.500 h/año	1.800 €/kW	7,1 c€/kWh
Biomasa (Residuos forestales y agrícolas)	7.500 h/año	1.800 €/kW	5,4 c€/kWh
Biogás	7.000 h/año	1.500 €/kW	2,5 c€/kWh

PER 2005-2010. Tarifa media de referencia, TMR (2005): 7,33 c€/kWh

Potencia eólica instalada

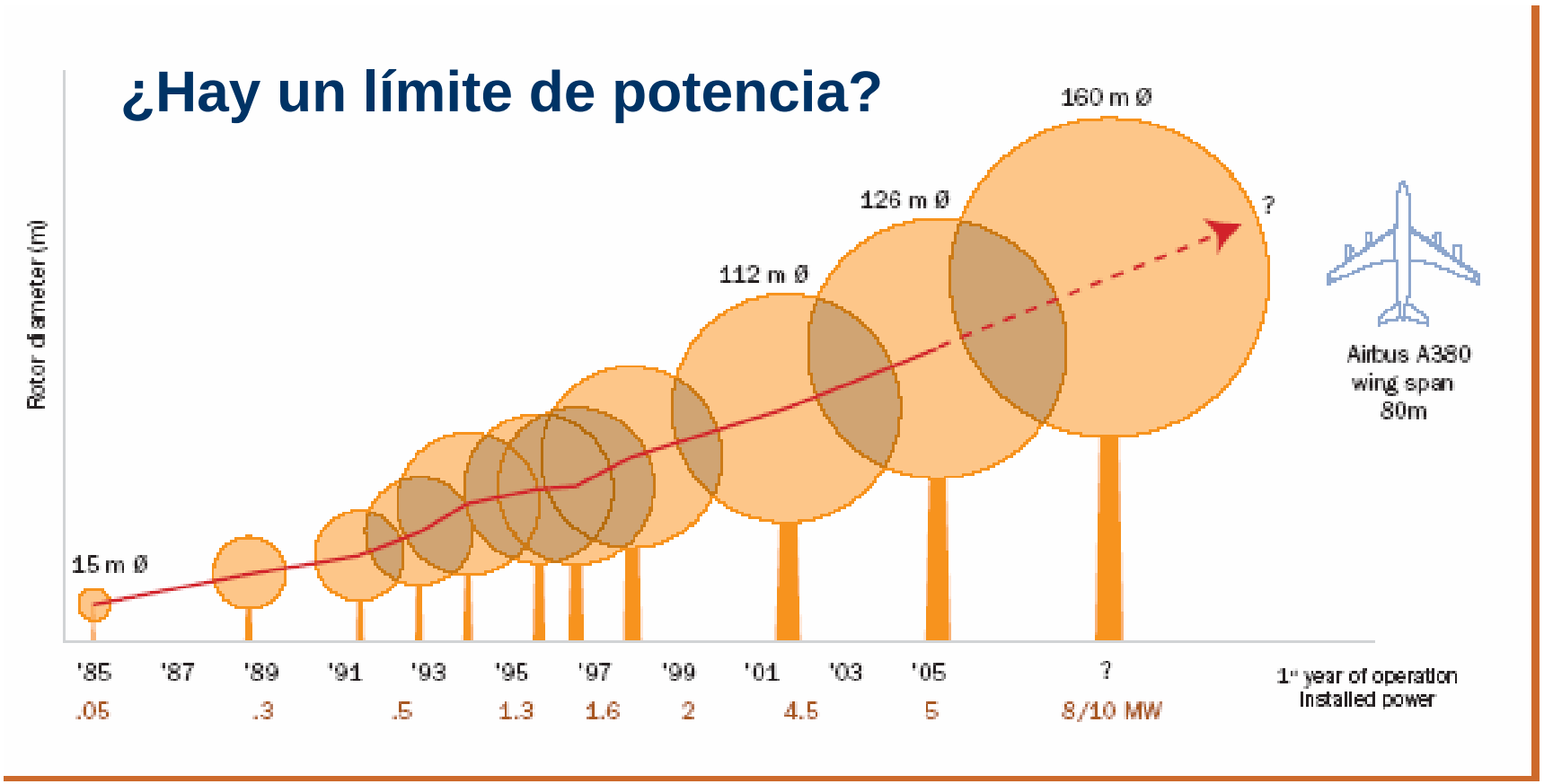


Potencia eólica instalada en España



- Objetivo PER-2010: 20.000 MW
- 10.000 MW al final de 2005 (7,5 % de la electricidad producida)

Tamaño de los aerogeneradores



Evolución del coste de la energía eólica

1979: 40 cents/kWh

2000:
4 - 6 cents/kWh
(no subsidy)

- Increased Turbine Size
- R&D Advances
- Manufacturing Improvements
- Operating Experience

2004:
3 - 5 cents/kWh
(no subsidy)

Líneas de I + D en Energía Eólica

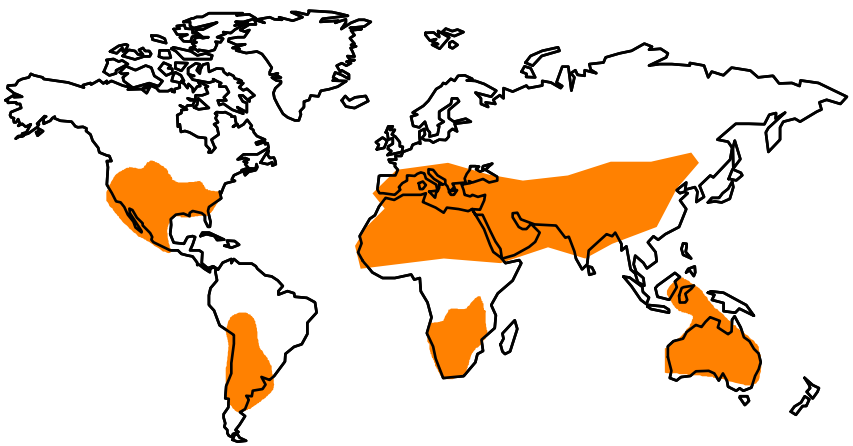
- **Reducción de Costes** (generadores, instalación, O&M)
- **Optimización** (diseños flexibles, redducción de cargas, nuevos materiales)
- **Aumento de la Eficiencia** (nuevos perfiles, palas, velocidad variable)
- **Simplificación** (orientación libre, imanes permanentes, integración de componentes)
- **Integración en la Red** (predicción, control, almacenamiento, electrónica de potencia)
- **Nuevos mercados** (off-shore, vientos débiles, orografía compleja, sistemas aislados, sistemas híbridos)
- **Reducción del impacto ambiental** (ruido, impacto visual, reciclaje)

Potencial de la energía solar de concentración

El flujo solar equivale a una “lluvia” de 20 cm de petróleo por m2 cada año; 1,3 barriles / (año x m2)

La energía primaria solar sobre toda la superficie terrestre equivale a más de 10.000 veces el equivalente de toda la energía primaria consumida en el mundo

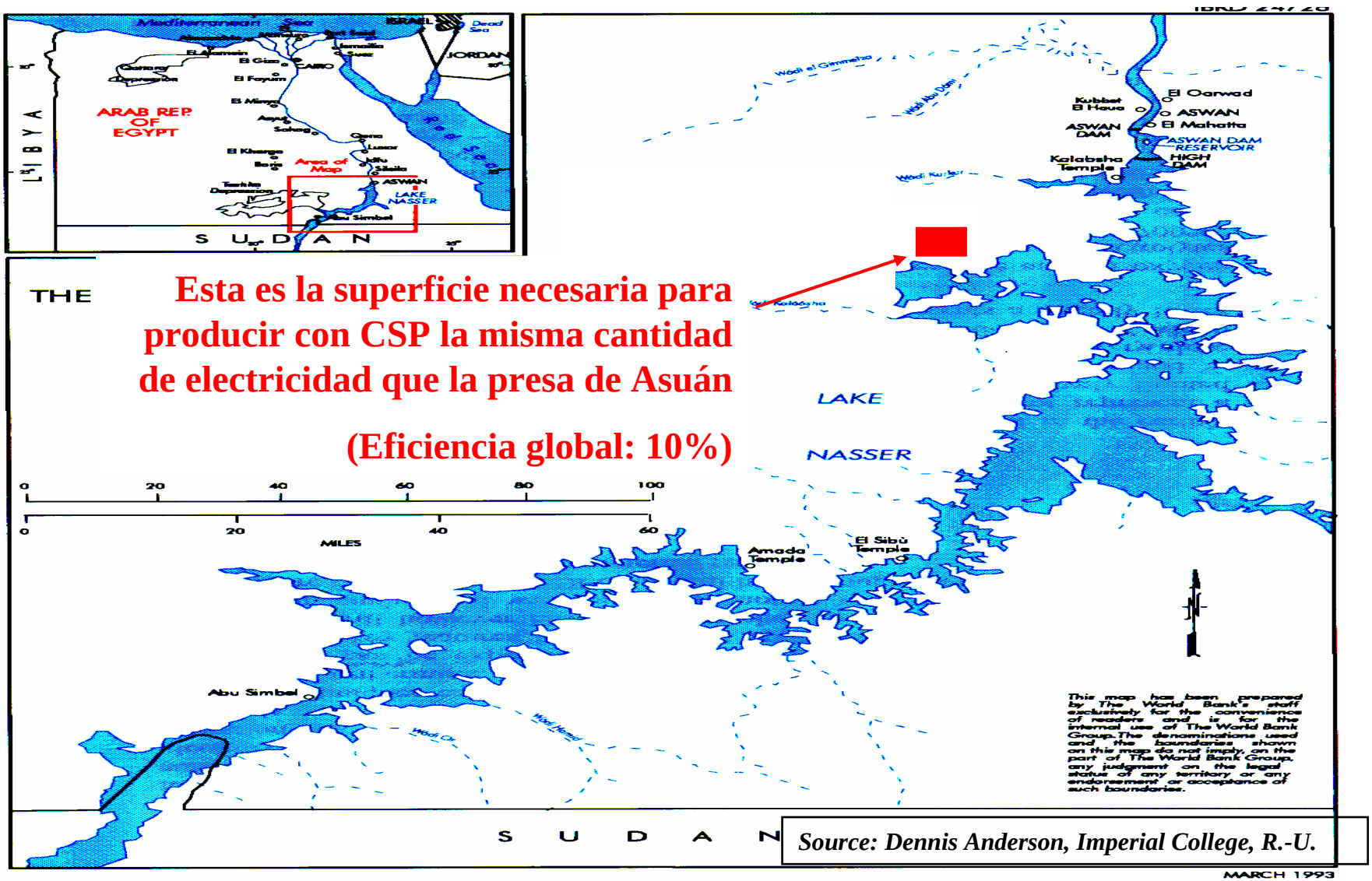
La energía solar es dispersa pero abundante



1% de las áreas áridas o semiáridas bastaría para satisfacer la demanda mundial de electricidad

Cada m2 de espejo produce 400 kWh al año, evita 12 t de emisiones de CO_2 y permite ahorrar 2,5 t de combustible durante la vida útil de la planta (25 años).

Potencial de la energía solar de concentración



Esta es la superficie necesaria para producir con CSP la misma cantidad de electricidad que la presa de Asuán

(Eficiencia global: 10%)

Source: Dennis Anderson, Imperial College, R.-U.

Razones para el desarrollo de la tecnología solar

Alto precio del petróleo y otros combustibles fósiles, junto con la perspectiva de su escasez

Seria preocupación por los efectos climáticos inducidos por la combustión de dichos combustibles

La extrema abundancia del recurso que lo hace prácticamente ilimitado y sin problemas de suministro

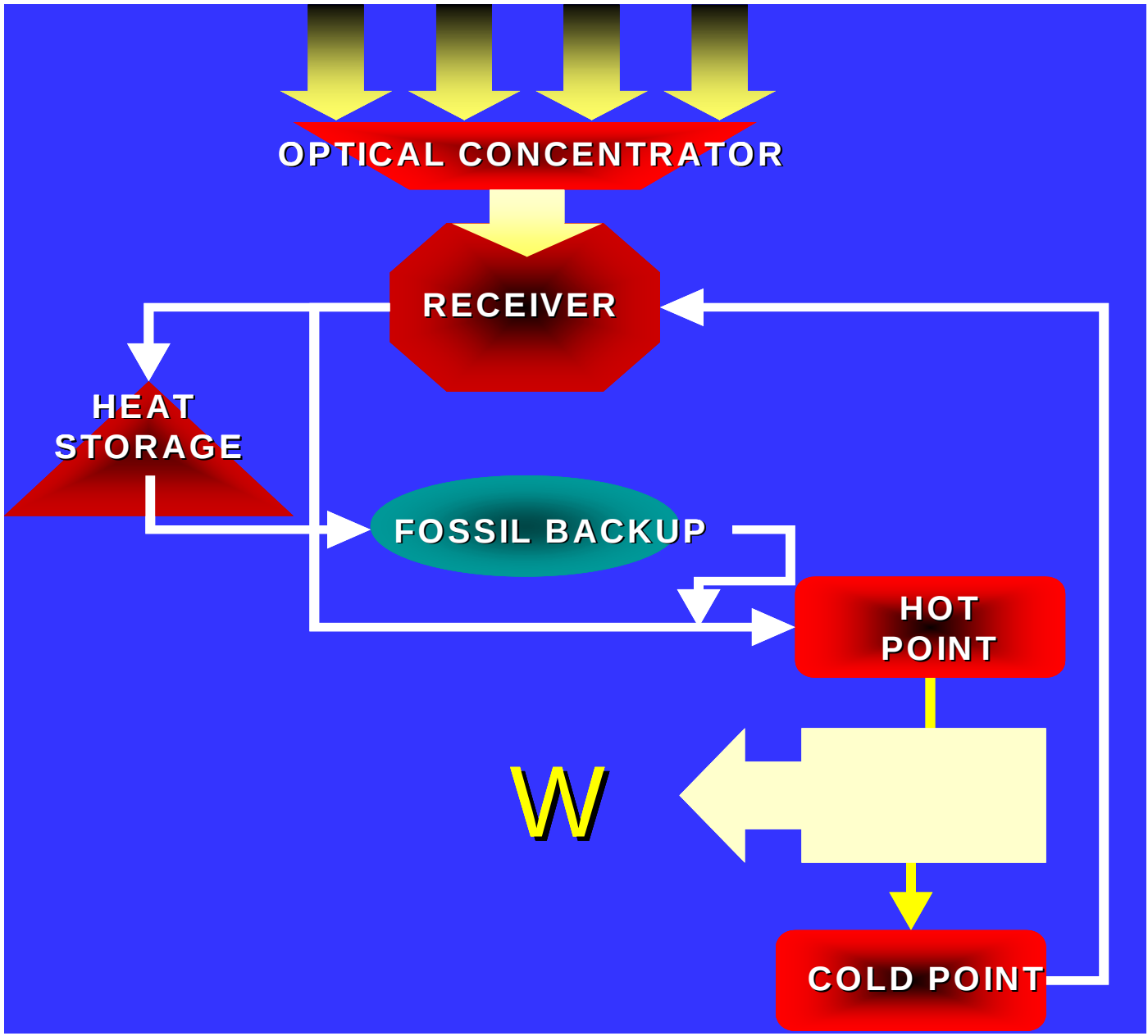
La extensión del recurso por los dos “cinturones solares” que comprenden a muchos países y, entre ellos, algunos de los más pobres del planeta (el plan de Argelia)

El impulso político al desarrollo de las energías renovables, que se traduce en “regímenes especiales” de tarifas y otros apoyos

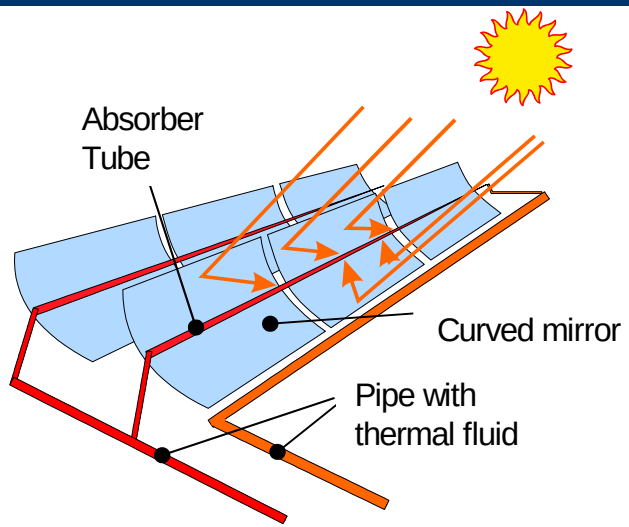
Sin embargo, estas tecnologías deben llegar a ser competitivas. La “discriminación positiva” sólo puede ser transitoria

Sistemas de Concentración Solar

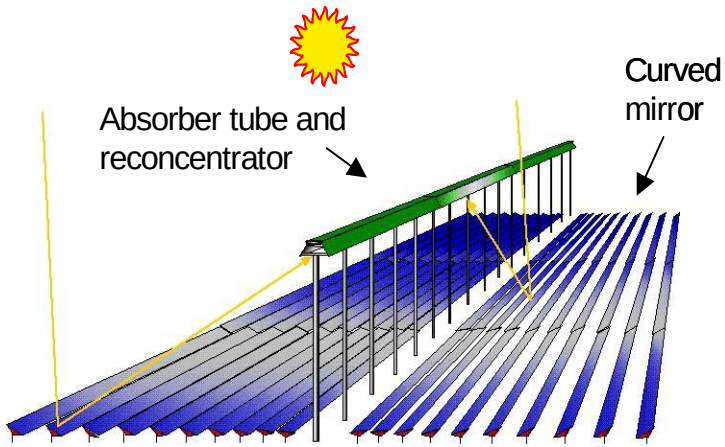
- Suministro predecible
- Posible hibridación
- Potencia máxima en verano (hidroeléctrica y eólica son escasas)



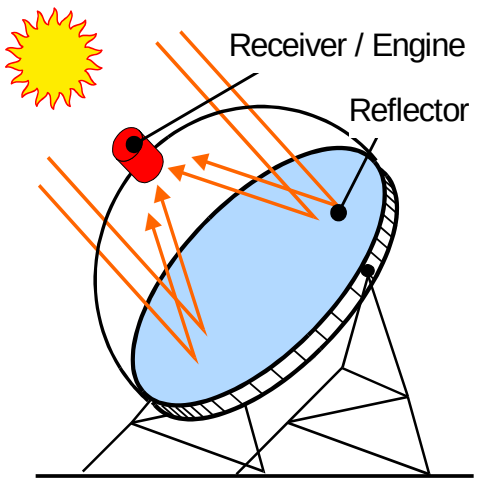
Tecnologías de concentración



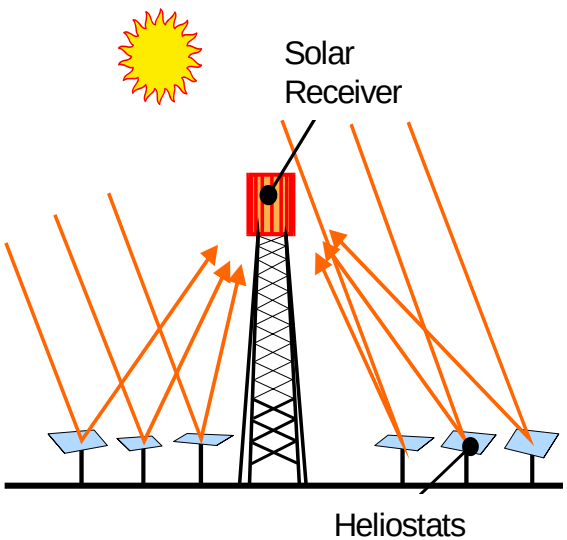
Parabolic Trough



Linear Fresnel



Dish/Engine



Central Receiver

Instalaciones de ensayo en la PSA

La radiación solar y sus aplicaciones

Generación de electricidad: a partir de ciclos termodinámicos, sin combustibles convencionales o en sistemas híbridos

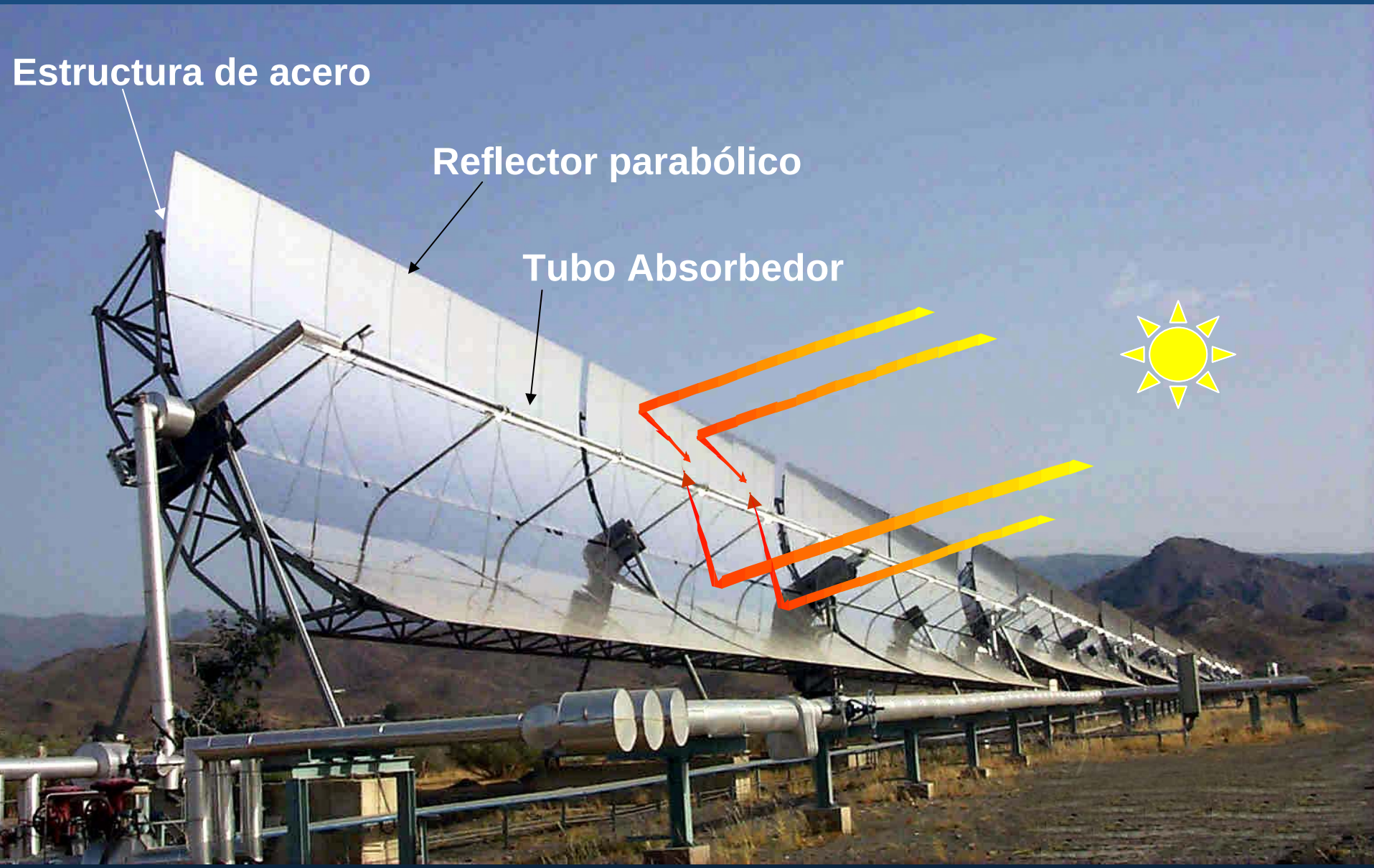
Calor para procesos industriales: Multitud de procesos industriales requieren calor a medias o altas temperaturas (125 ºC a 2000 ºC)

Aplicaciones especiales: producción de hidrógeno, desalinización del agua, destoxificación de aguas y gases, etc.

Planta de destoxificación de Albaida

Planta comercial desde junio de 2004 para la destoxificación de aguas contaminadas con pesticidas en los invernaderos de Almería (La Mojonera)

Colectores Cilíndrico-parabólicos



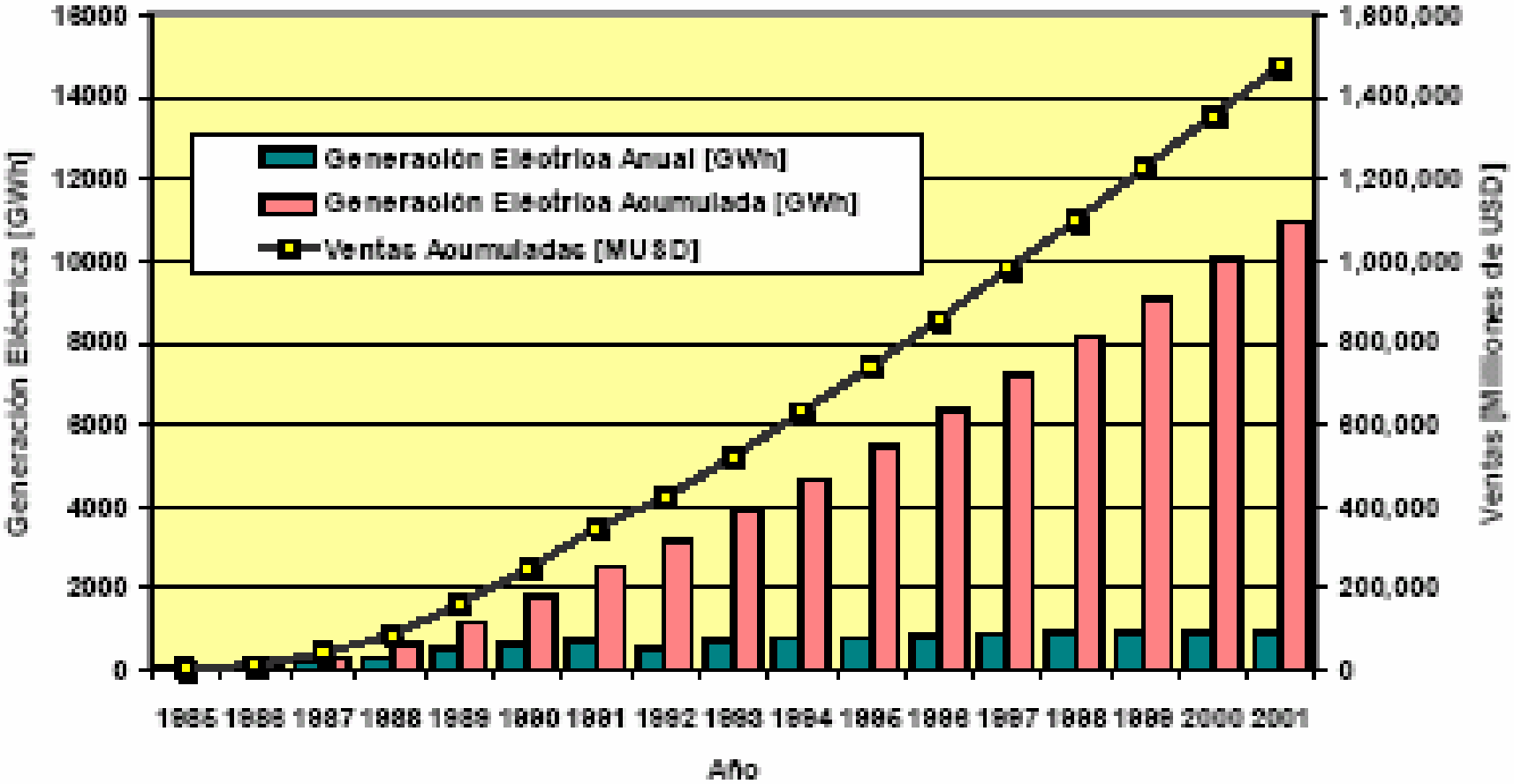
Colectores cilindro-parabólicos: una realidad

Plantas SEGS. 354 MWe. Kramer’s Junction, California

El campo solar

El bloque de potencia

La experiencia SEGS



LEC: 12-15 cents/kWh

PTC: pros y contras

- Hay un gran potencial de mercado para esta tecnología
- El riesgo tecnológico es pequeño (experiencia de las plantas SEGS)
- Es la forma más barata de producir electricidad con energía solar (~3600 €/kW de potencia instalada, 0,12 – 0,18 €/kWhe generado)
- Existe un gran potencial de mejora y reducción de costes (< 2500 €/kW de potencia instalada, < 0,12 €/kWhe generado)

- Esta tecnología es apropiada para grandes plantas (1 MWt < P< 600 MWt)
- El número de proveedores de componentes clave (espejos y tubos absorbedores) es muy pequeño

Planta piloto DISS en la PSA

11 colectores parabólicos. Apertura: 5.76 m; longitud total: 550 m; orientación norte-sur.

Potencia: 1.8 MW_t

Máxima temperatura y presión del vapor generado: 400 ºC y 120bar.

Colectores DISS en operación

Proyecto DISS: CIEMAT, DLR, IBERDROLA, ENDESA, INABENSA, INITEC, PILKSOLAR, SIEMENS, ZSW.

PS-10, Solúcar

Receptor:

Vapor Saturado

Heliostatos:

624 x 121 m2

Altura de la torre:

115 m

Potencia Nominal:

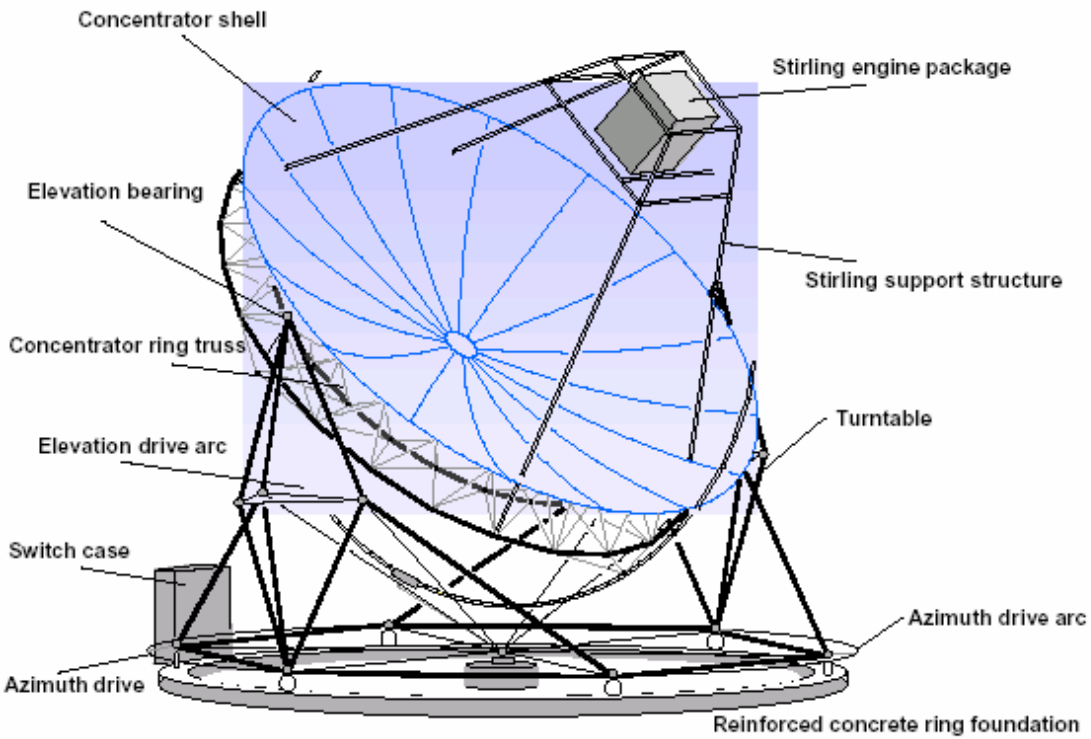
11 MWe

Producción:

28,3 GWh/año

PS-10, Solúcar

Discos Stirling: máxima concentración



- **Principales características:**
  - **Alta eficiencia (30%)**
  - **Modularidad (10-25kW)**
  - **Hibridación**

Diversos prototipos de discos, receptores y motores han demostrado sus altas prestaciones adaptadas a aplicaciones comerciales.

Discos Parabólicos

Proyectos de plantas termosolares

Iniciativas de plantas únicamente solares

LOCATION	Cycle	Solar Technology	Solar Cap. MW	Aperture [m²]
Spain (9)	Steam Cycle	Trough (Andasol)	50	549’360
Spain	Steam Cycle	Tower (Solar Tres)	15	263’600
Spain	Steam Cycle	Tower (*PS10*)	10	88’290
South Africa	Steam Cycle	Solar Tower	100	1’100’000
Israel	Steam Cycle	Trough	50	500’000
USA	Steam Cycle	Trough (Solargenix)	50	?

Iniciativas CSP en España

Iberdrola

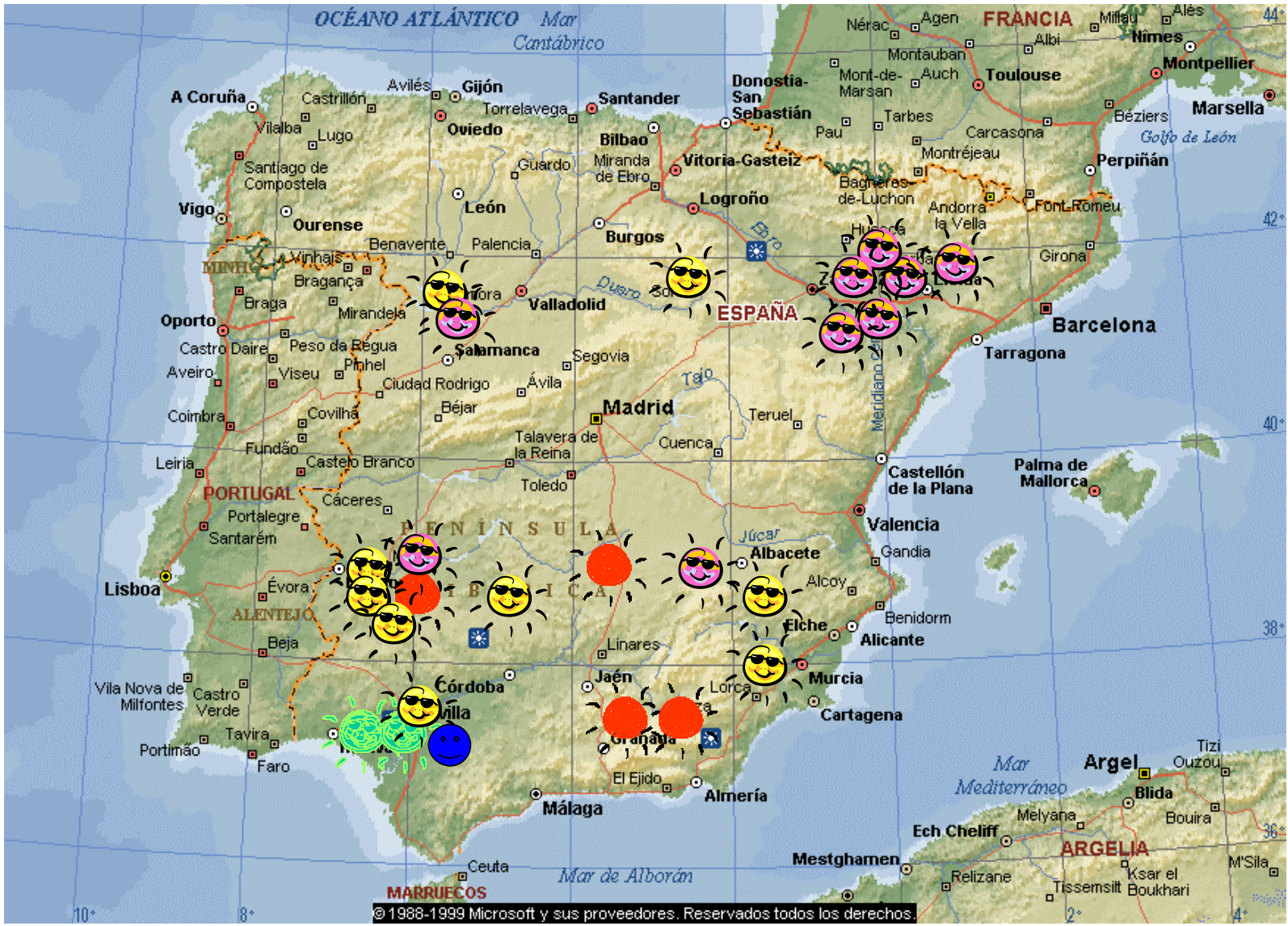
ACS/SM

Abengoa

Sener

Samca

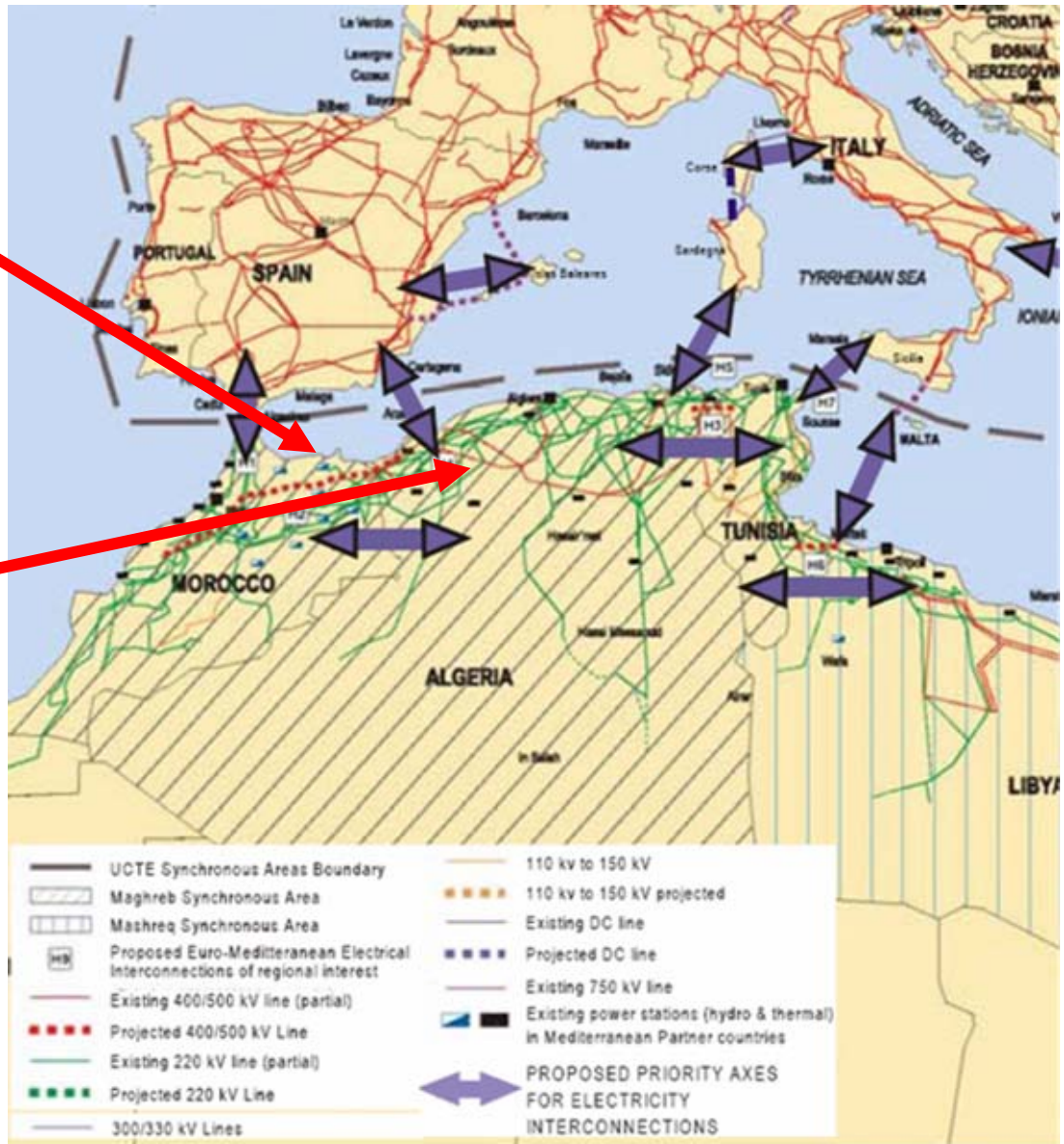
Acciona



Planes para la exportación de electricidad solar desde el Norte de África a Europa

Ain Beni Mathar

Hassi R'mel

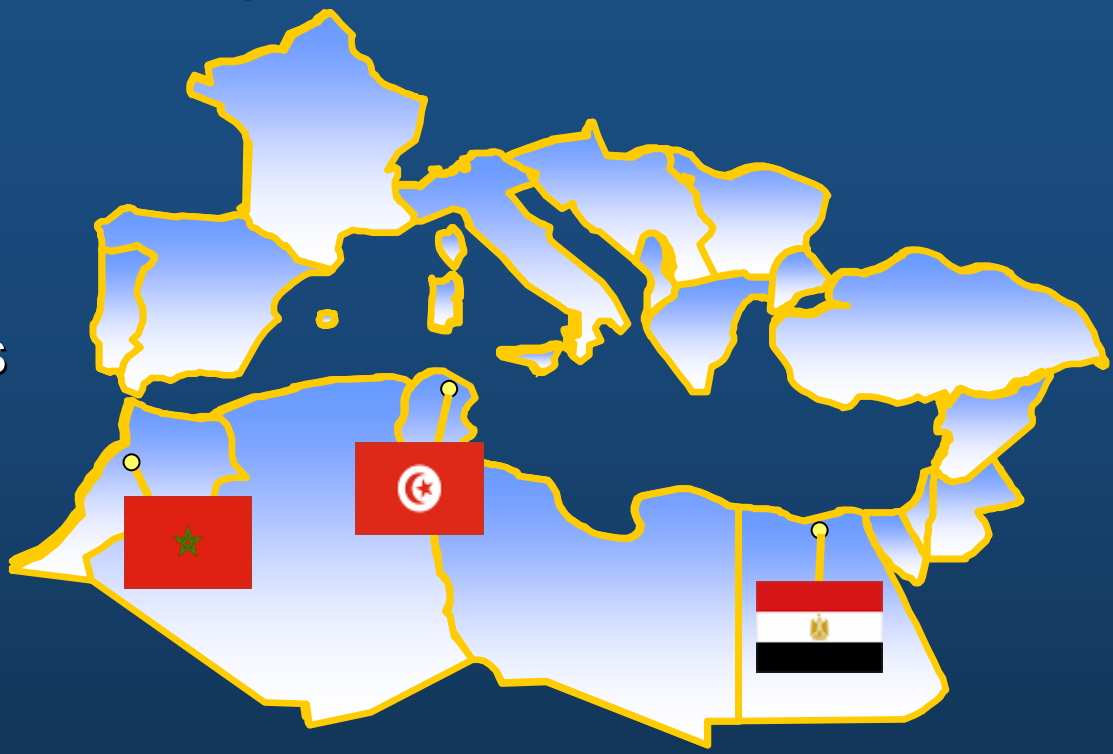


Mediterranean H.V. Networks

Source: M. Geyer (SolarPACES)

Proyecto AQUACAT

- Destoxificación de aguas para su reciclaje y potabilización por Fotocatálisis Solar in países semi-áridos (AQUACAT)
- Contrato ICA3-CT-2002-10028. Presupuesto total de 1.706 k€



- **Partners Europeos**: Univ. Claude Bernard Lyon1 (coordinator), Univ. de Poitiers, Ahlstrom Paper Group [France], CIEMAT – PSA, Univ. Complutense, Ecosystem [Spain], Ao Sol [Portugal], EPFL [Switzerland]
- **Partners Norteafricanos**: Projema, Ecole Superieure de Technologie de Fes [Morocco], Photoenergy Center [Egypt], Ecole Nationale d'Ingenieurs de Gabes [Tunisia]

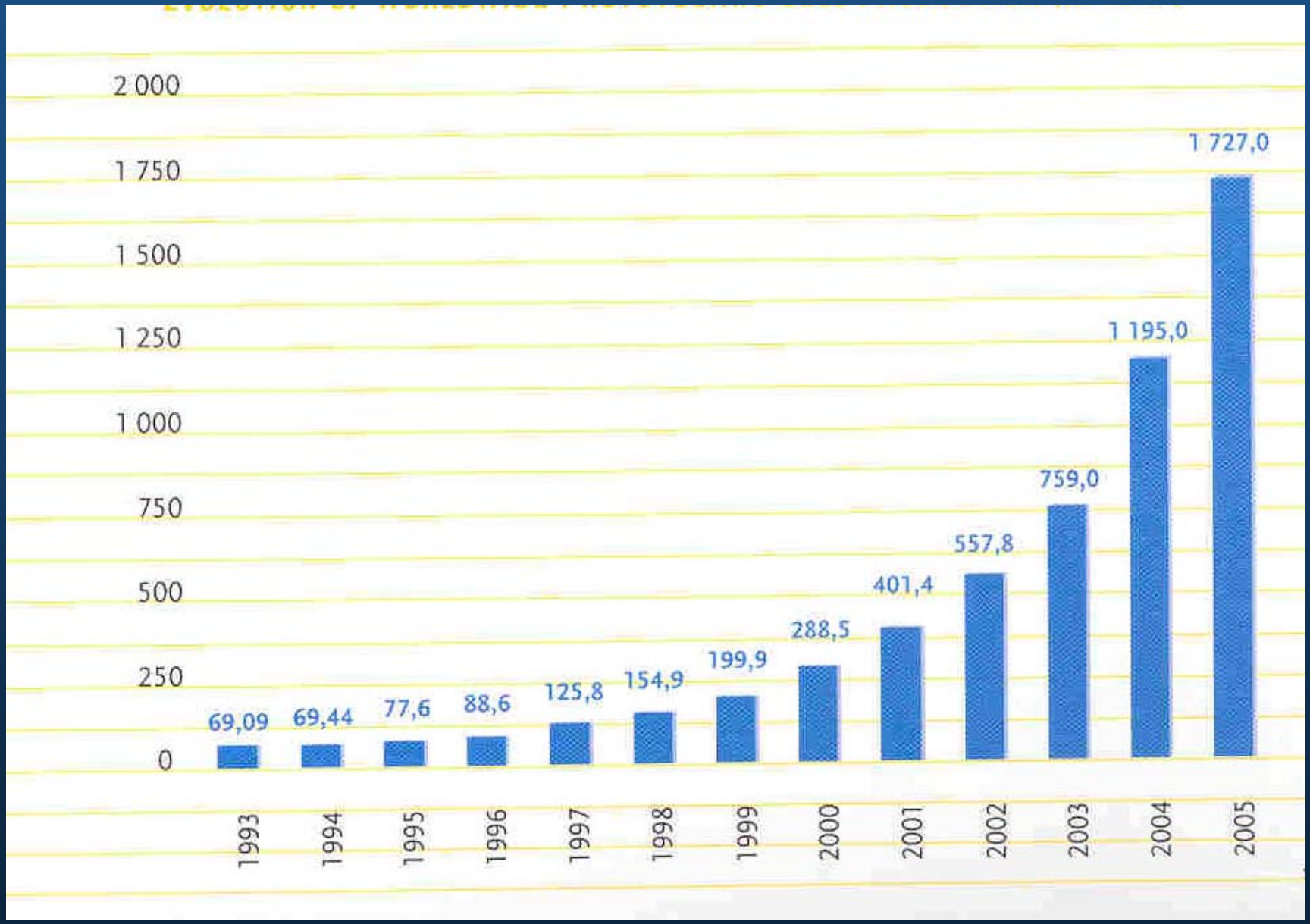
Biocombustibles

- ✓ Bioetanol: Alto coste y baja eficiencia (celulosa ~55 GJ/Ha; hemicelulosa: 75 GJ/Ha).
- ✓Challenges: Reducción de costes mediante el uso de hemicelulosa y lignina.
- ✓ Variedades no convencionales; Cultivos Energéticos.
- ✓ Generalización de motores de explosión flexibles

✓Bio-diesel:

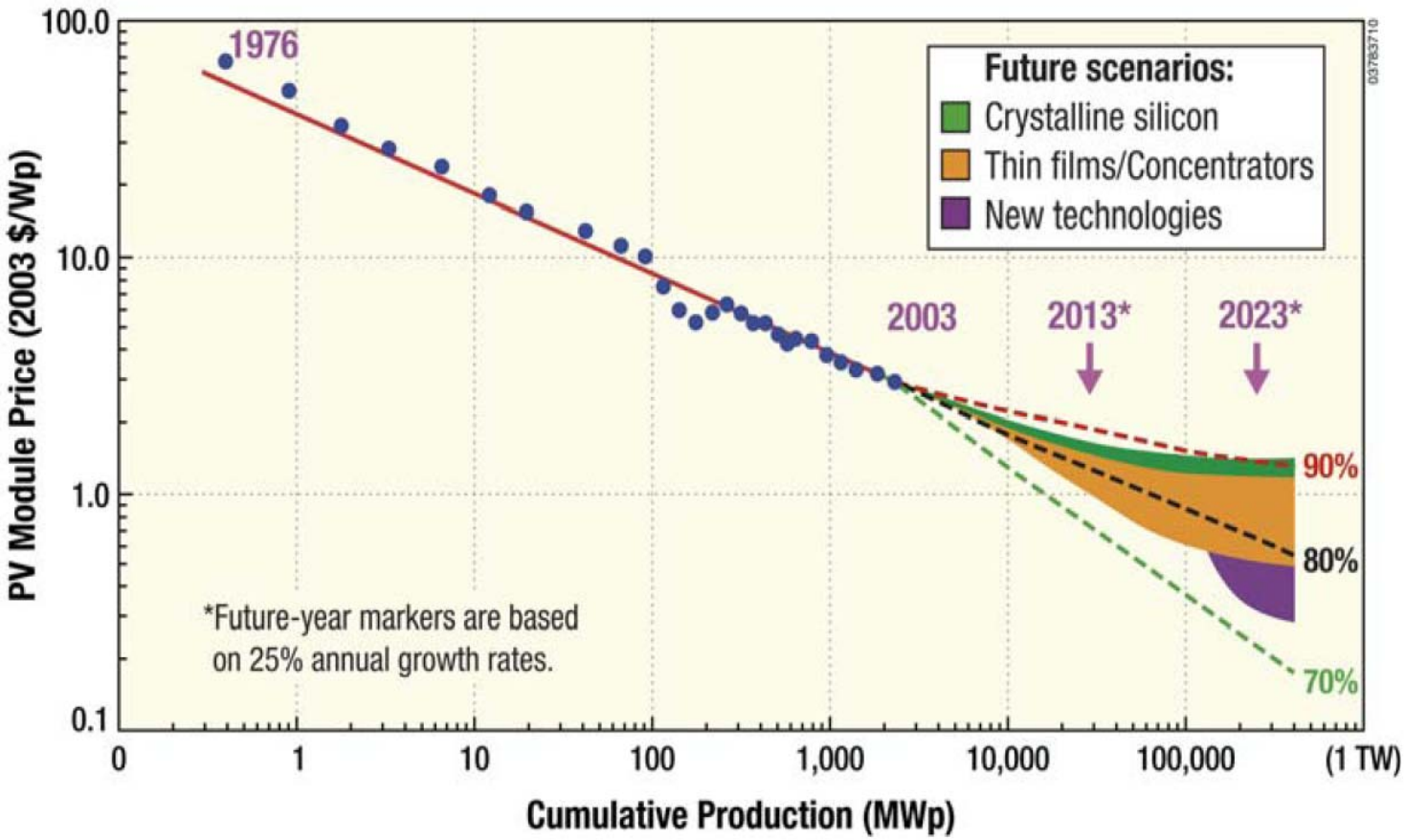
- ✓ Tecnología probada pero con baja eficiencia (~40 GJ/Ha).
- ✓ Challenges: Cultivos energéticos y valorización de residuos.

Producción mundial de células FV (en MWp)



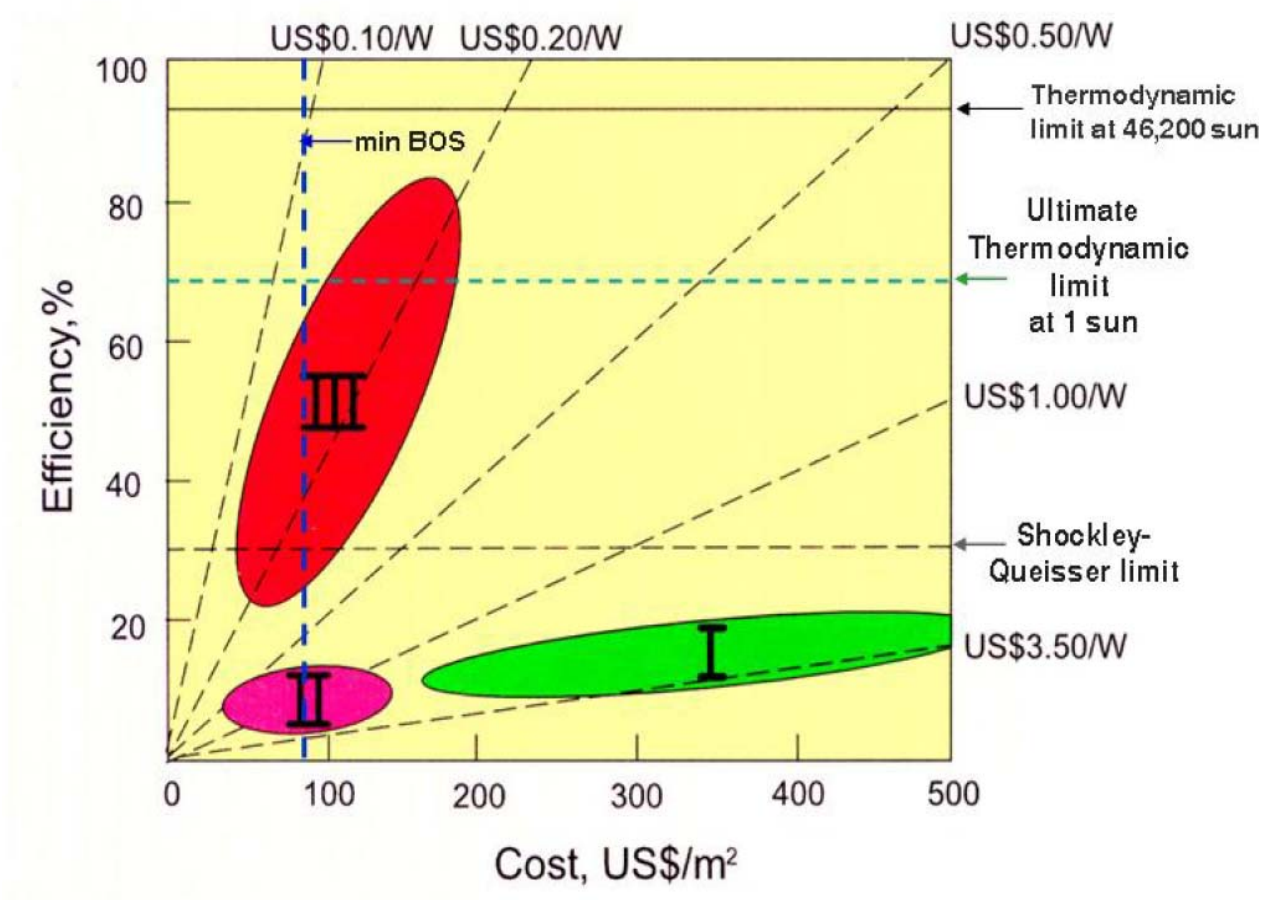
EurObserv'ER PV News, March 2006

Fotovoltaica: Prospectiva



T. Surek, “Crystal Growth and Materials Research in Photovoltaics,” J. Crystal Growth 275, 292 (2005).

Fotovoltaica: Estado del arte



I: Oblea de silicio cristalino (presente)

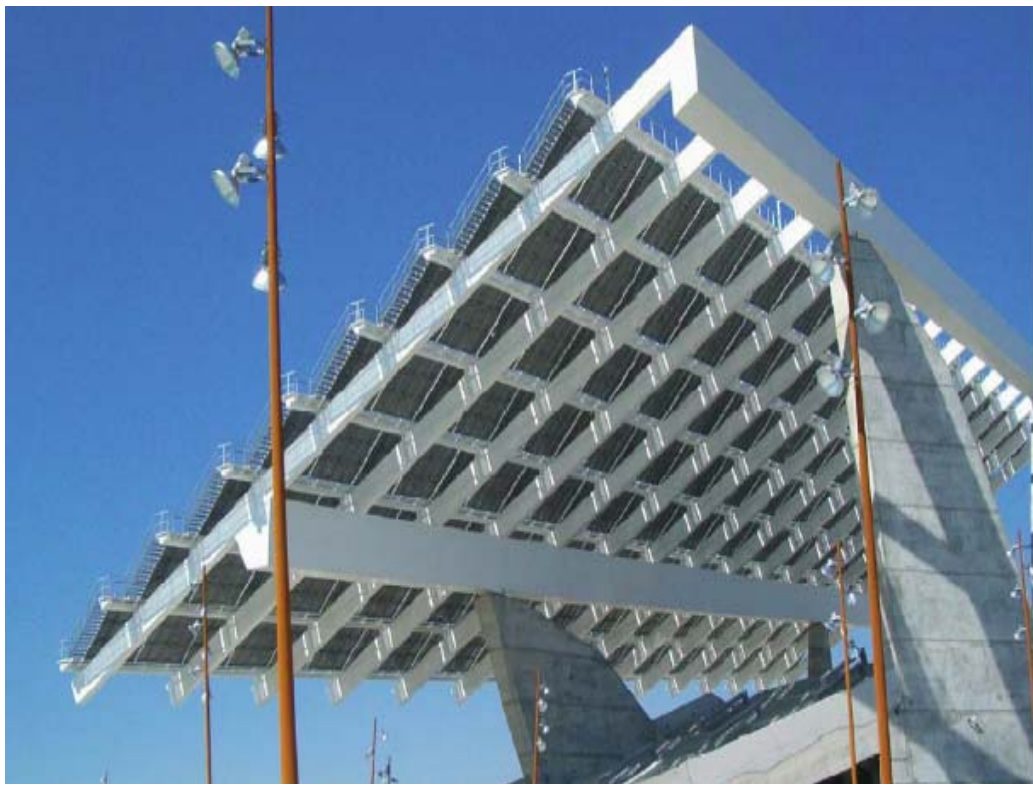
II: Lámina delgada (corto plazo)

III: Nuevos materiales y tecnologías (muy largo plazo)

M.A. Green, Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion. Springer-Verlag: Berlin, Germany (2004).

Fotovoltaica: Tendencias de I + D

- ✓**Concentración**
- ✓**Reducción de costes en las células de silicio**
- ✓**Introducción de la tecnología de lámina delgada y dispositivos de hetero-union**
- ✓**Nuevos conceptos, como células de materiales poliméricos o sistemas III-V (no sin importantes inconvenientes).**
- ✓**Nuevos sistemas integrados de bajo coste y alta durabilidad**



Renovables

Las energías renovables son parte de la solución

- Están repartidas, en particular en los países menos desarrollados.
- Son muy abundantes, en teoría inagotables.
- Pocos efectos medioambientales negativos (CO_2).
- Tienen un impacto social positivo: empleos y uso de suelos "improductivos"

Pero no son toda la solución

- Dispersas: consumen mucho territorio.
- Caras: la tecnología y la producción en serie son todavía muy preliminares.
- No es sensato pensar que puedan sustituir a todas las fuentes convencionales en varias generaciones.

Energía nuclear y sostenibilidad

Condiciones para la sostenibilidad:

- Reducir la necesidad de almacenar grandes cantidades de residuos radiactivos durante periodos geológicos.
- Incrementar el nivel de seguridad pasiva de las plantas.
- Controlar los riesgos de proliferación.
- Resolver el problema de la escasez de recursos (U235)

Dos tendencias principales:

- Separación y Transmutación (sistemas subcríticos y ciclos avanzados).
- Reactores avanzados (más eficientes, intrínsecamente seguros, cantidad reducida de residuos y mejor gestión de combustible y residuos).

Condiciones para la sostenibilidad

Disminuir la dependencia de fuentes externas y las oscilaciones en los precios

Fuentes abundantes y repartidas. El Sol puede ser una fuente de riqueza para los países menos desarrollados. Países MENA (en particular)

Sostenibles desde el punto de vista medioambiental

Tecnologías comprensibles y dominables

Creación de puestos de trabajo y desarrollo de las industrias nacionales

Diversificar el menú energético