

A economia do hidrogénio

Uma visão sucinta

Rui Vilela Mendes
(UTL e CMAF)

5/22/2005

Menu

- ◆ 1 – O panorama energético
- ◆ 2 – O ambiente e os combustíveis fósseis
- ◆ 3 – Qual é o problema ? Haverá um problema ?
- ◆ 4 – O papel do hidrogénio
- ◆ 5 – A produção do hidrogénio
- ◆ 6 – A armazenagem do hidrogénio
- ◆ 7 – O uso do hidrogénio
- ◆ 8 – A substituição dos combustíveis fósseis ?

1 – O panorama energético

- ◆ Até meados do século 18 o homem usou energia “renovável” do Sol
 - Calor e luz directos
 - Fotosíntese → comida → trabalho animal e humano
 - Lenha, vento e movimento da água

Renovável = fluxo de energia solar em tempo real

- ◆ A partir daí passa a usar energias acumuladas (fósseis) em grande escala. Consequências dramáticas

◆ A idade da energia

- ◆ $1Q = 10^{15} \text{ BTU} = 1,06 \times 10^{18} \text{ J} = 294 \times 10^6 \text{ MWh}$

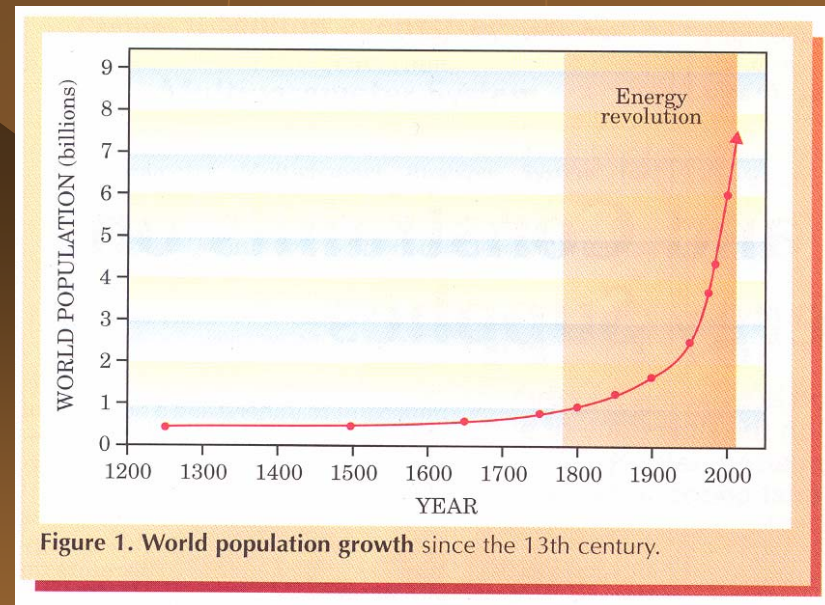


Figure 1. World population growth since the 13th century.

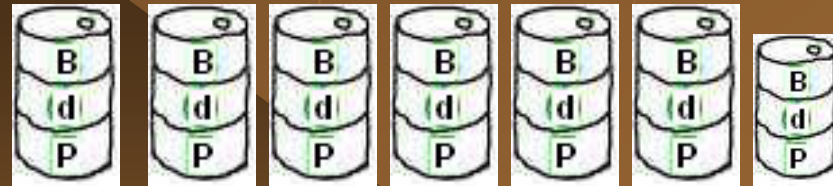
1 – O panorama energético

- ◆ O papel das energias acumuladas na vida humana actual

- Produtos industriais
- Construção
- Serviços
- Comunicações
- Confortos
- Transportes
- Alimentação (energia agrícola + fertilizantes)



=

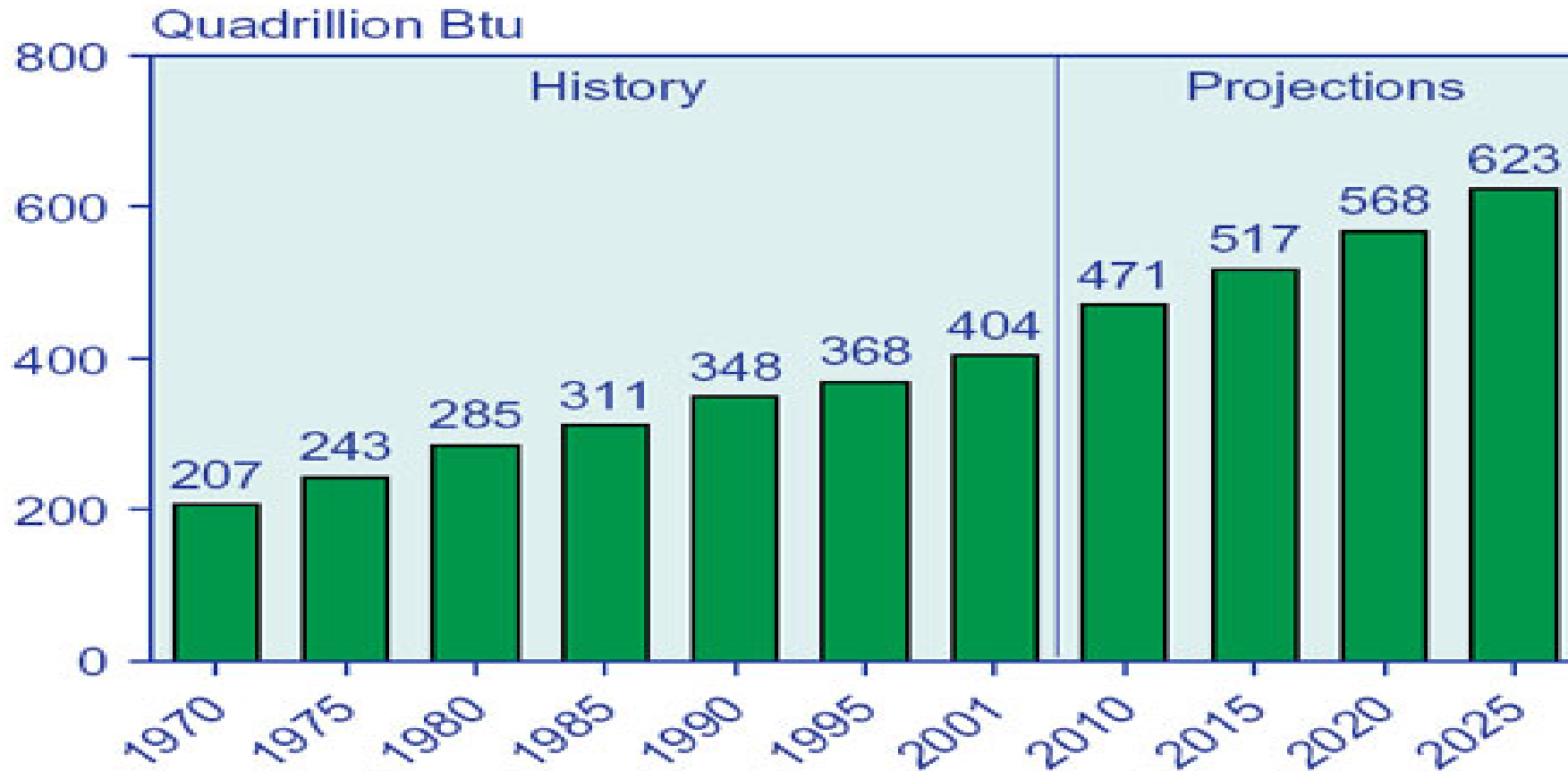


(sem fertilizantes seria necessária 3-4 vezes mais terra arável para fixar o azoto)

- ◆ ⇒ Uma grande dependência das energias fósseis

1 – 0 panorama energético

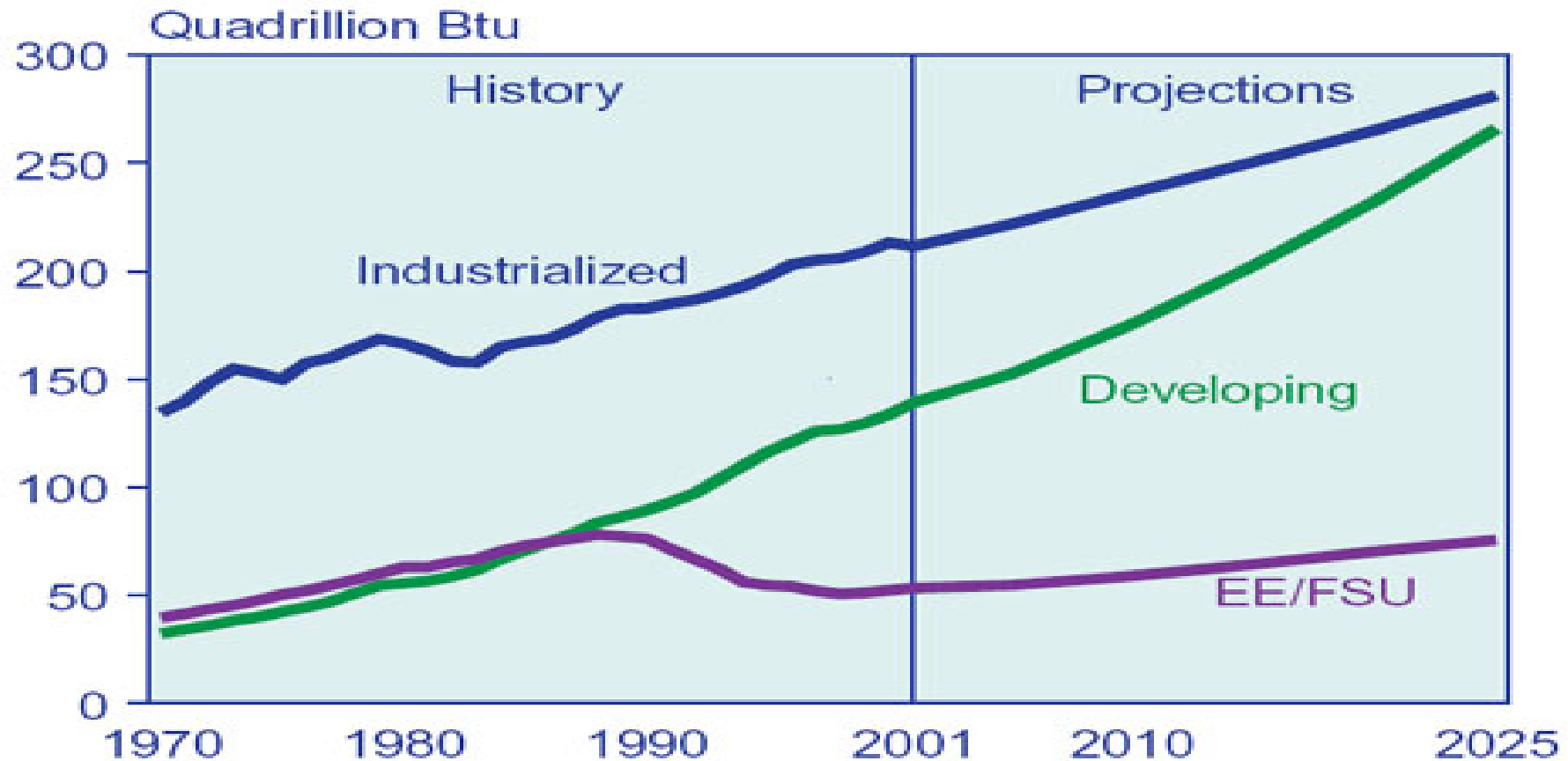
Figure 2. World Marketed Energy Consumption, 1970-2025



Sources: **History:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2001*, DOE/EIA-0219(2001) (Washington, DC, February 2003), web site www.eia.doe.gov/iea/. **Projections:** EIA, *System for the Analysis of Global Energy Markets* (2004).

1 – 0 panorama energético

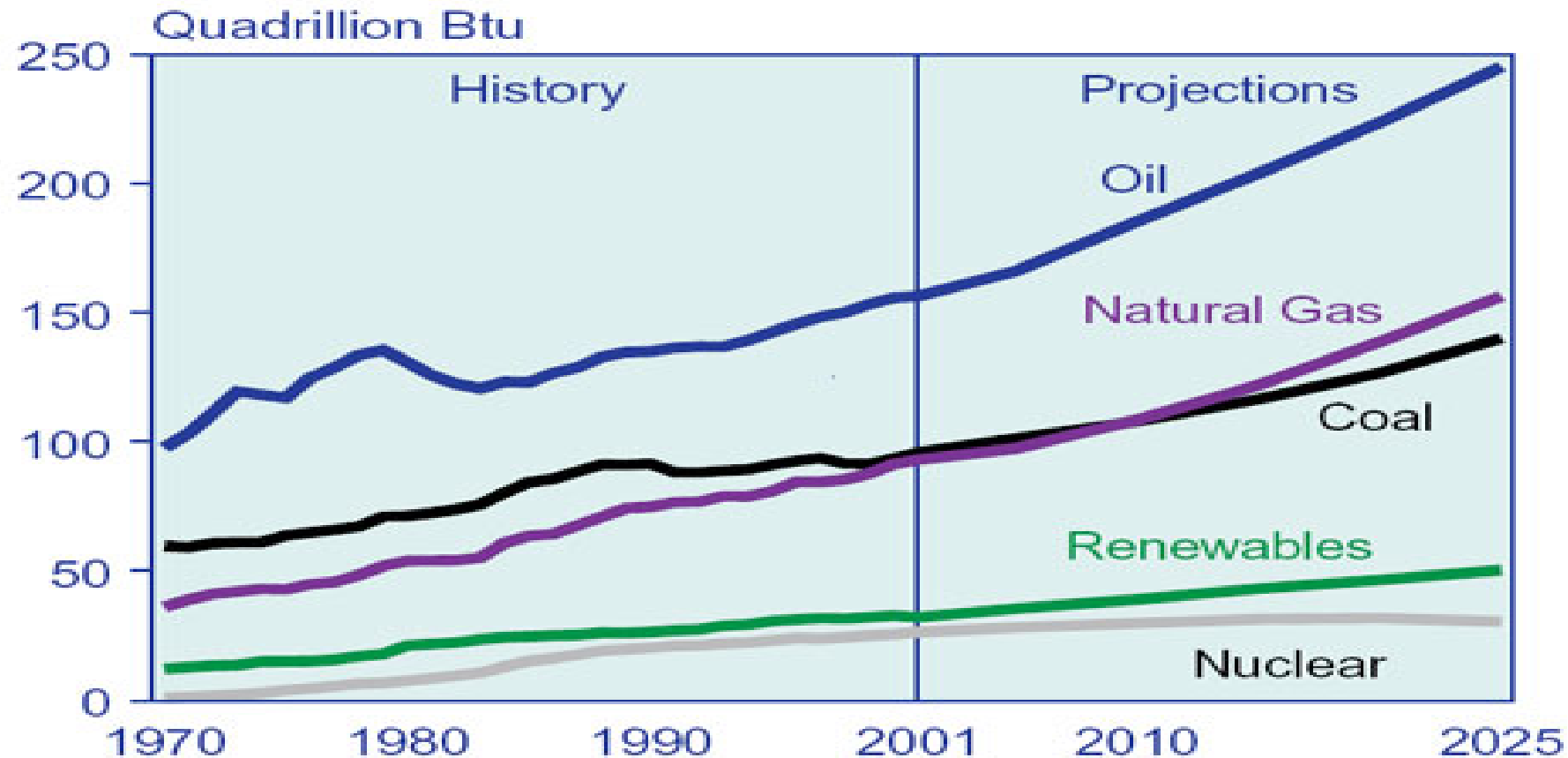
Figure 3. World Marketed Energy Consumption by Region, 1970-2025



Sources: **History:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2001*, DOE/EIA-0219(2001) (Washington, DC, February 2003), web site www.eia.doe.gov/iea/. **Projections:** EIA, System for the Analysis of Global Energy Markets (2004).

1 – 0 panorama energético

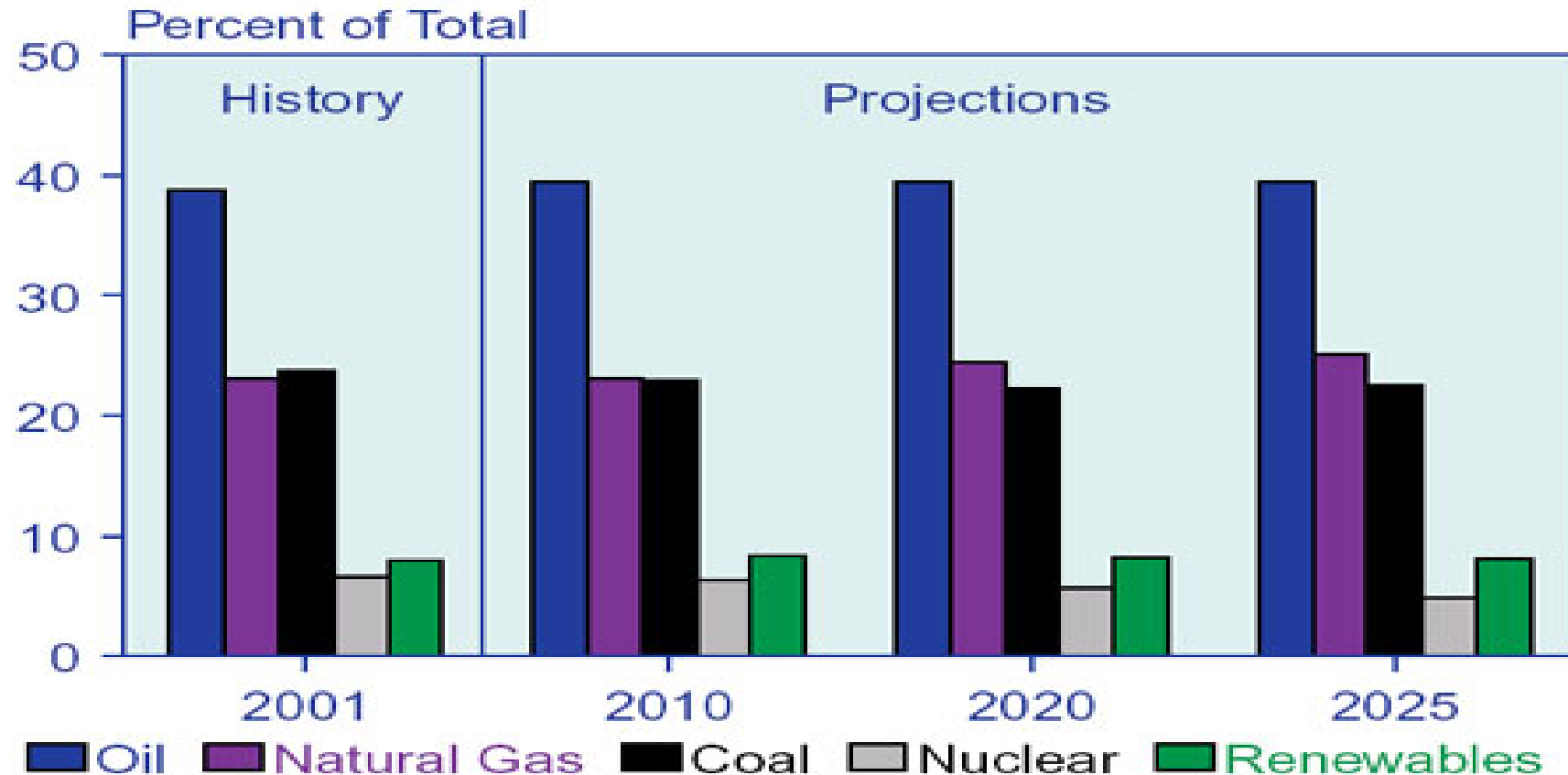
Figure 5. World Marketed Energy Consumption by Energy Source, 1970-2025



Sources: **History:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2001*, DOE/EIA-0219(2001) (Washington, DC, February 2003), web site www.eia.doe.gov/iea/. **Projections:** EIA, *System for the Analysis of Global Energy Markets* (2004).

1 – 0 panorama energético

Figure 6. World Energy Consumption Shares by Fuel Type, 2001, 2010, 2020, and 2025



Sources: **2001:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2001*, DOE/EIA-0219(2001) (Washington, DC, February 2003), web site www.eia.doe.gov/iea/. **Projections:** EIA, *System for the Analysis of Global Energy Markets* (2004).

Energia, população e crescimento económico

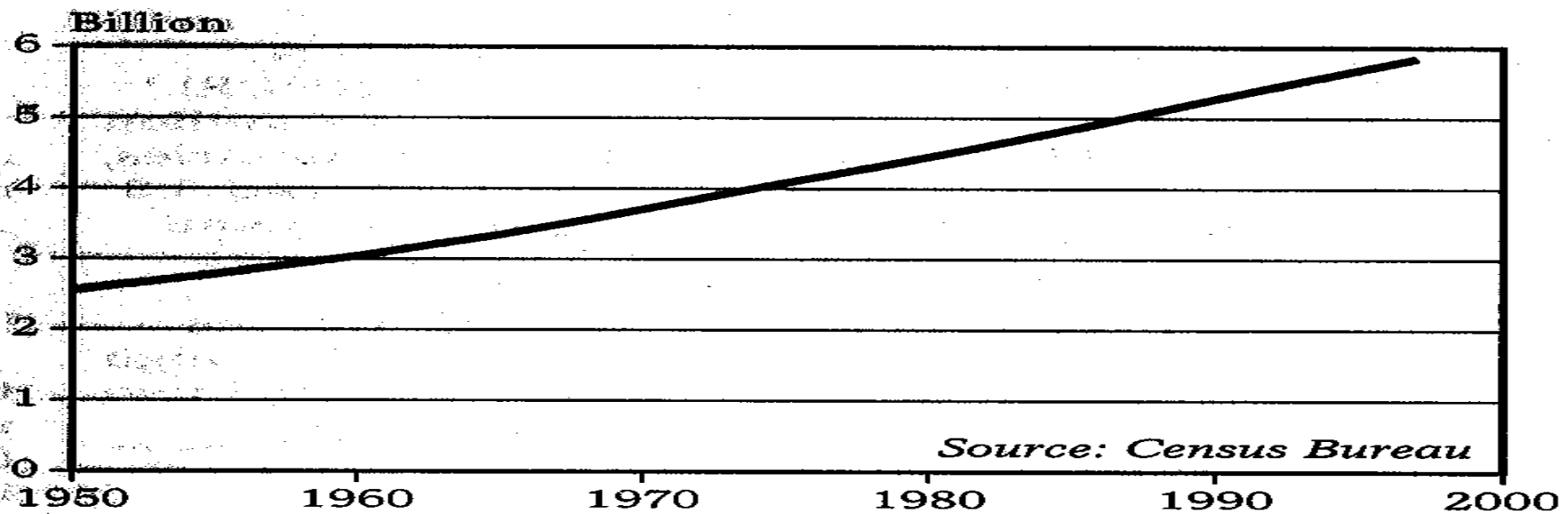


Figure 1: World Population, 1950-97

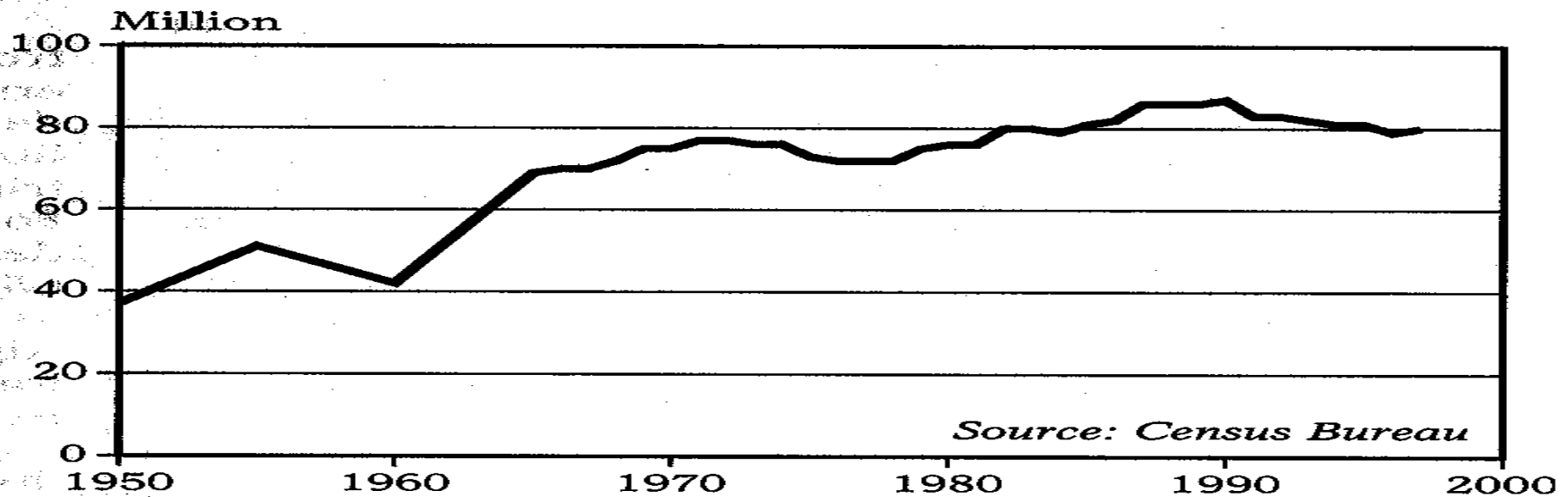


Figure 2: Annual Addition to World Population, 1950-97

Energia, população e crescimento económico

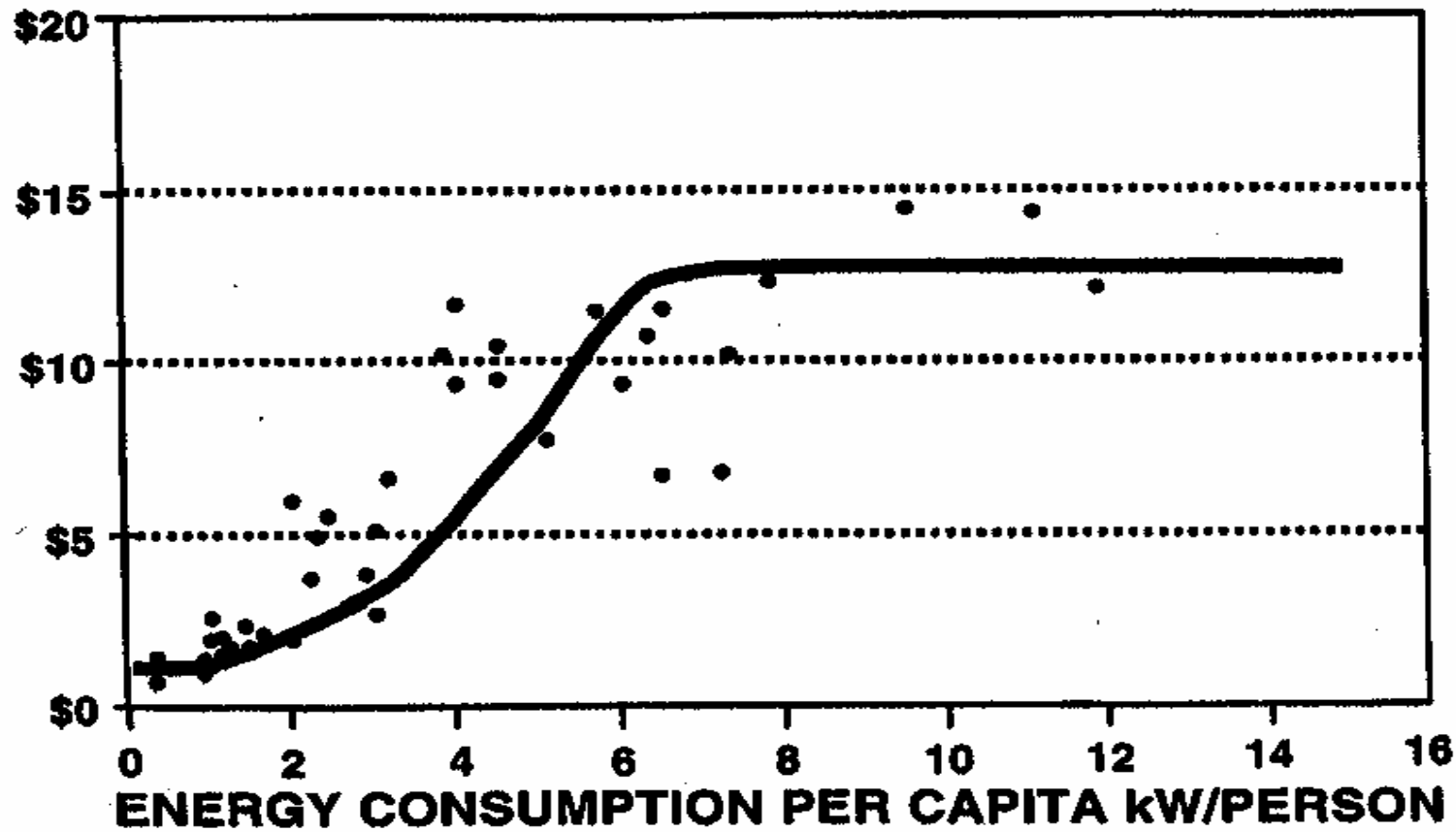
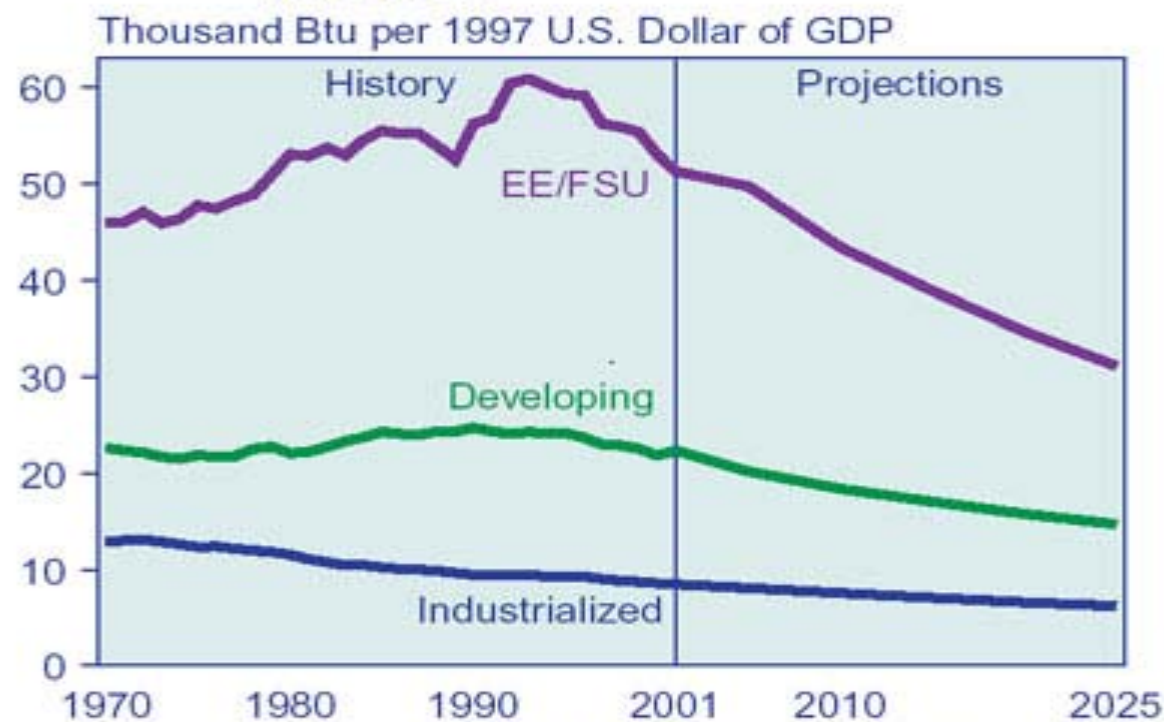


Fig. 1. Energy consumption per capita relationship with GNP per capita.

Energia, população e crescimento económico

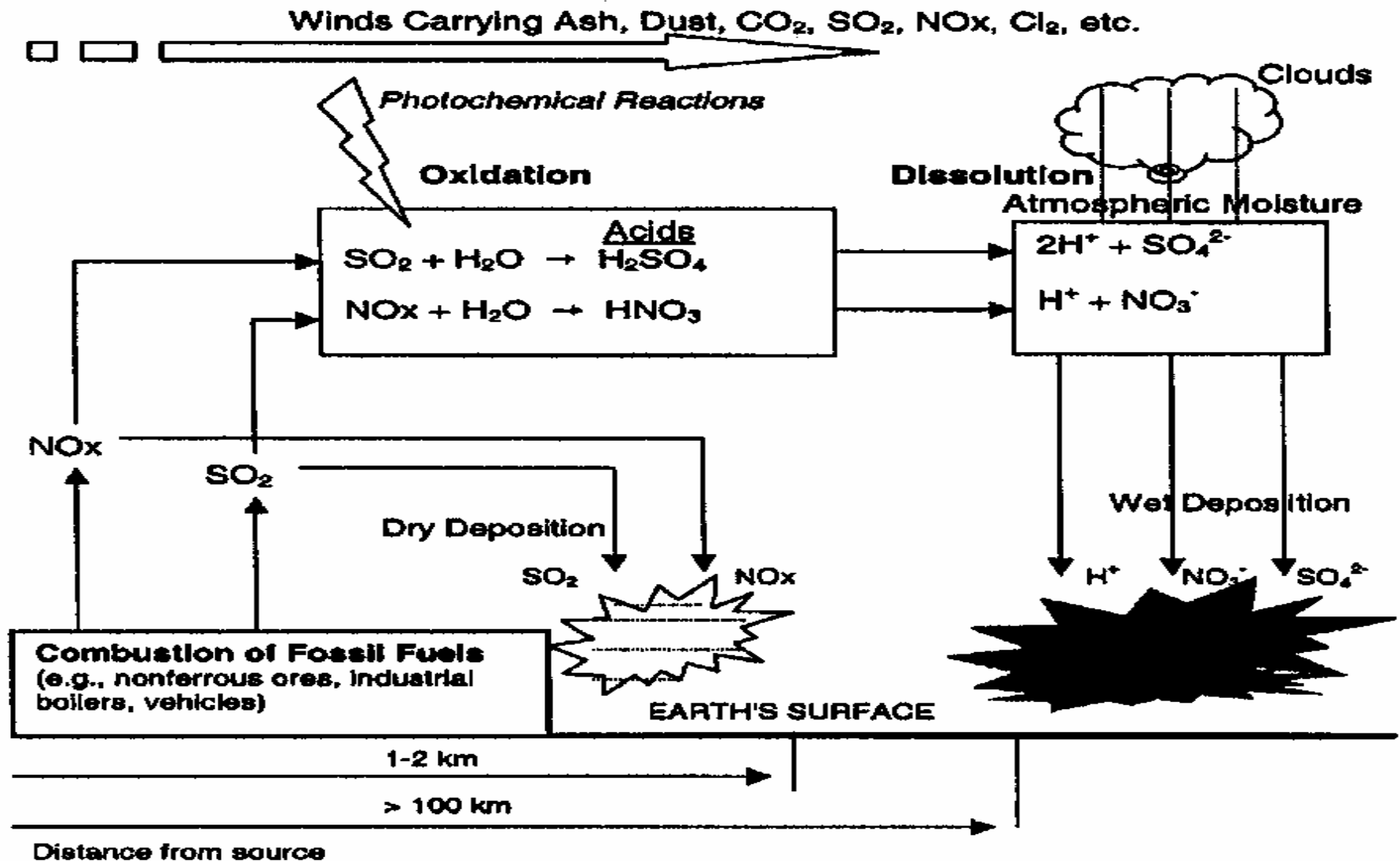
Figure 10. World Energy Intensity by Region, 1970-2020



Sources: **History:** Derived from Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2001*, DOE/EIA-0219(2001) (Washington, DC, February 2003), web site www.eia.doe.gov/iea/. **Projections:** EIA, *System for the Analysis of Global Energy Markets* (2003).

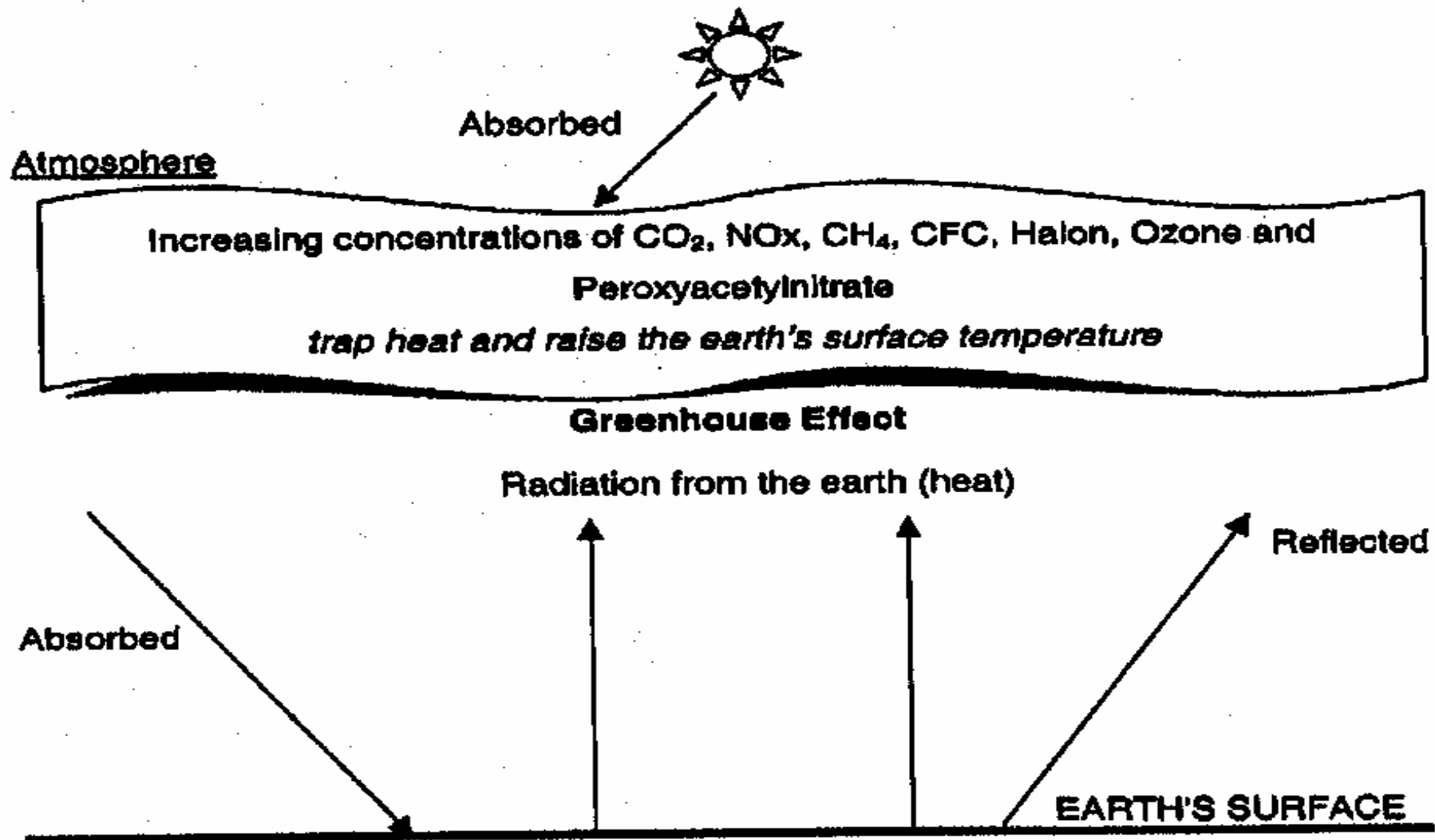
2 – O ambiente e os combustíveis fósseis

◆ Chuvas ácidas



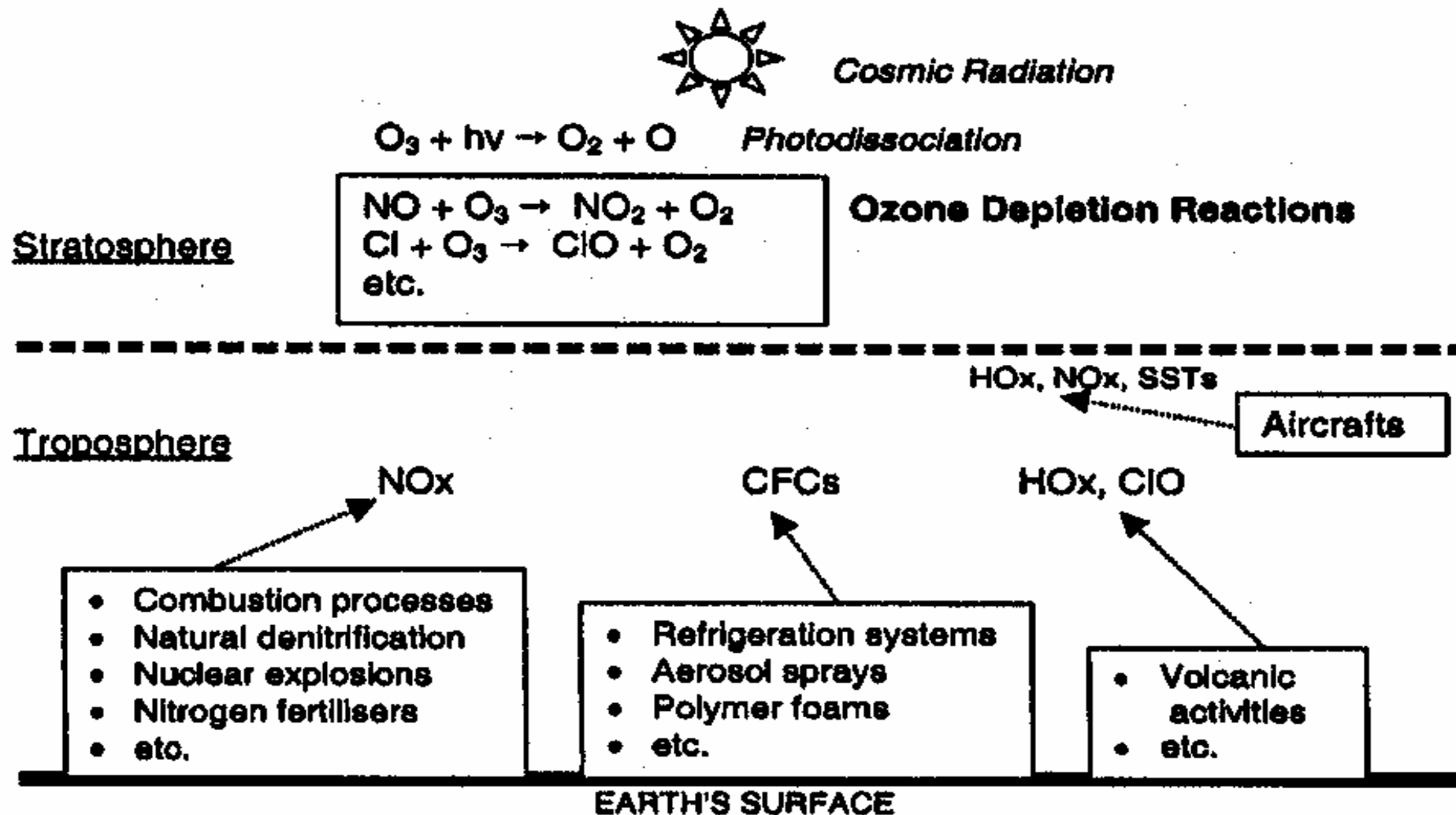
2 – O ambiente e os combustíveis fósseis

◆ Efeito de estufa



2 – O ambiente e os combustíveis fósseis

◆ A camada de ozono



2 – O ambiente e os combustíveis fósseis

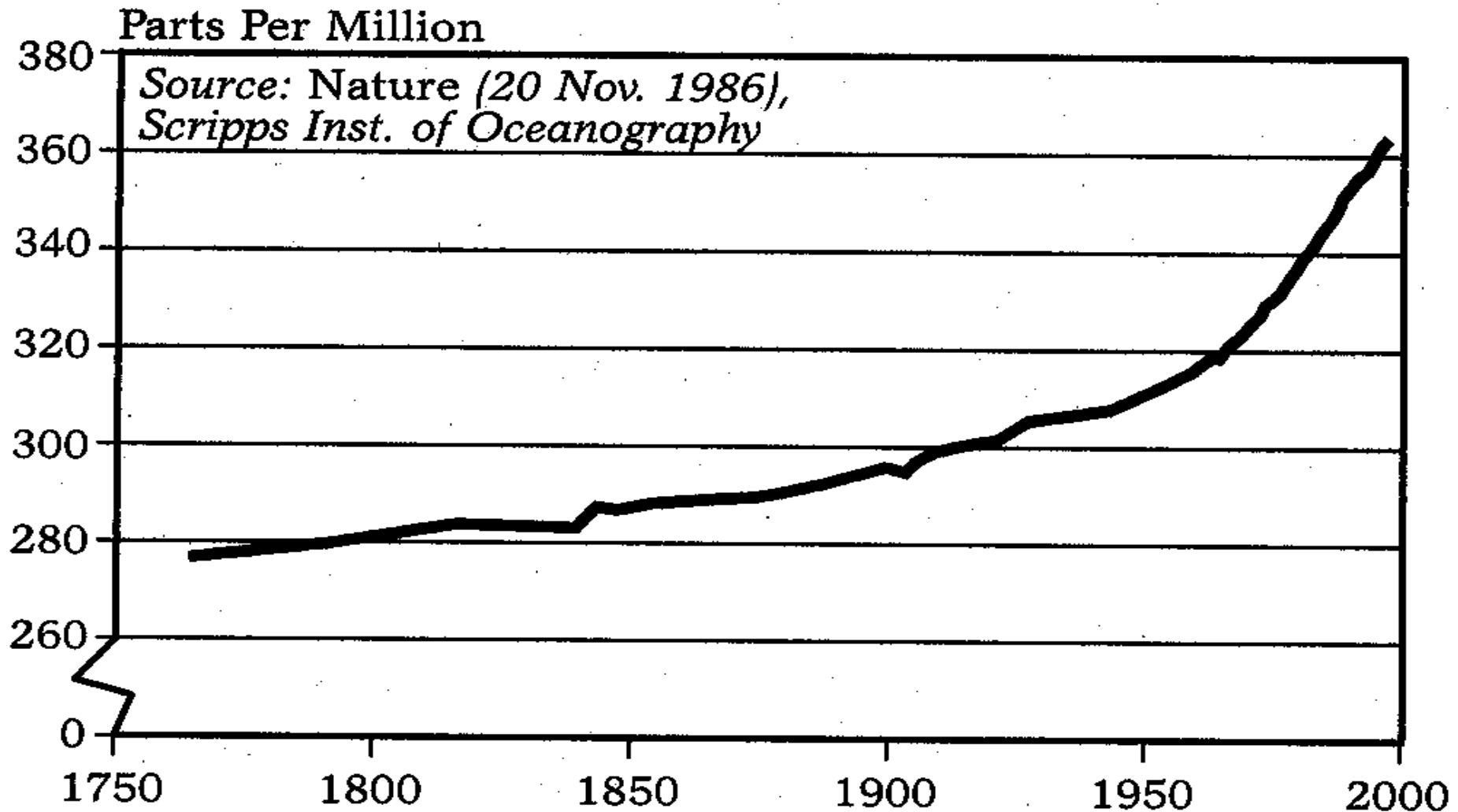


Figure 4: Atmospheric Concentrations of Carbon Dioxide, 1764–1997

2 – O ambiente e os combustíveis fósseis

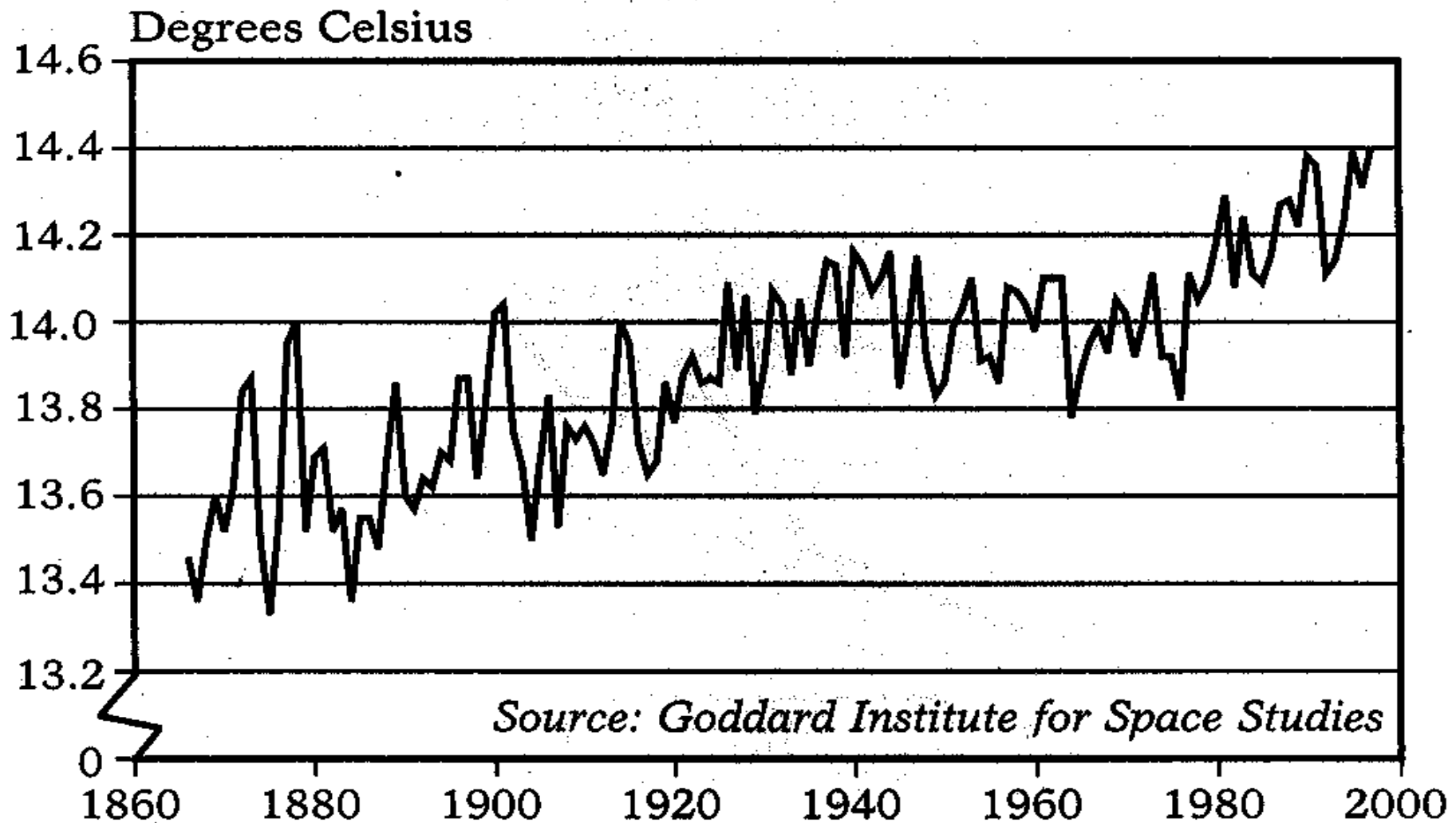
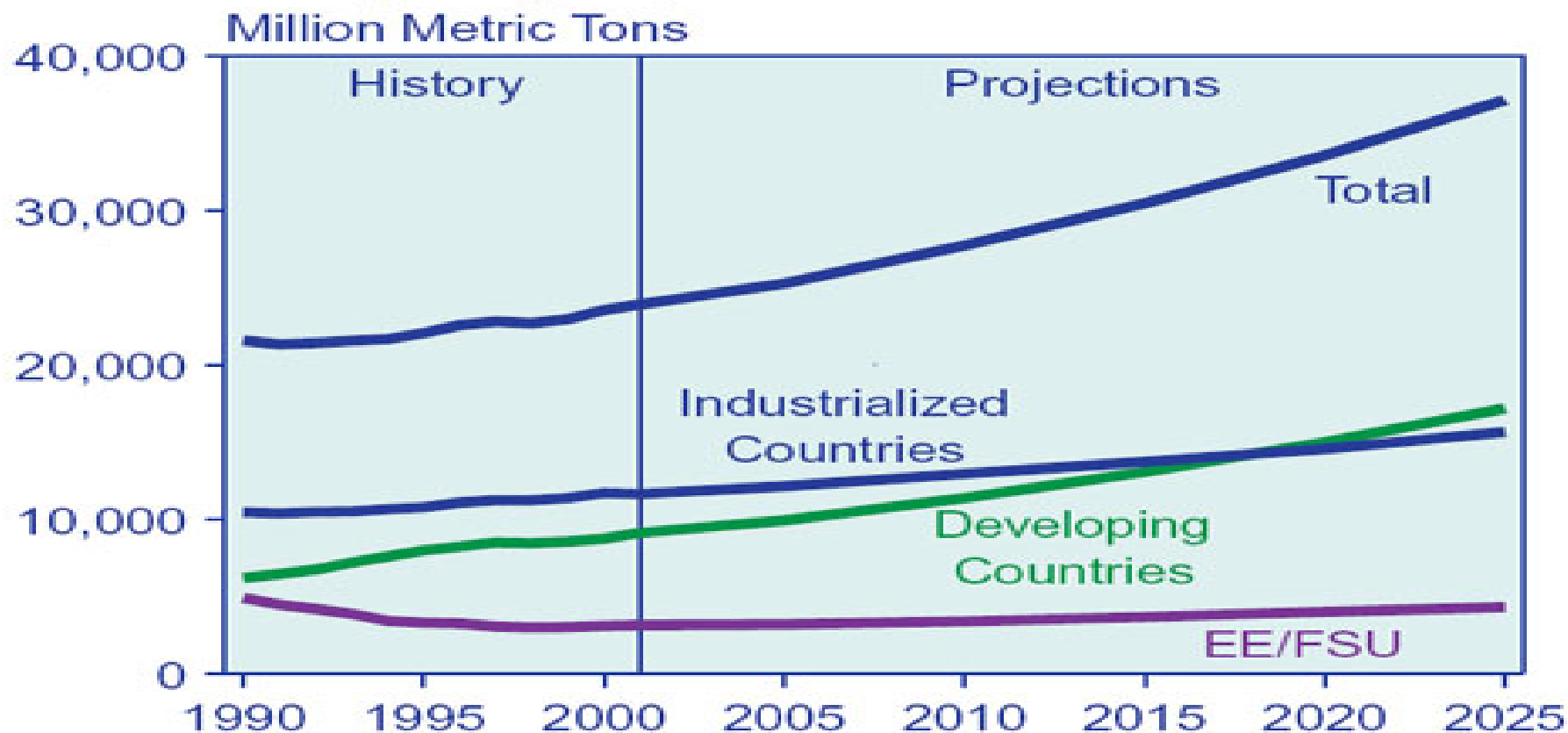


Figure 5: Average Temperature at the Earth's Surface, 1866–1997

2 – O ambiente e os combustíveis fósseis

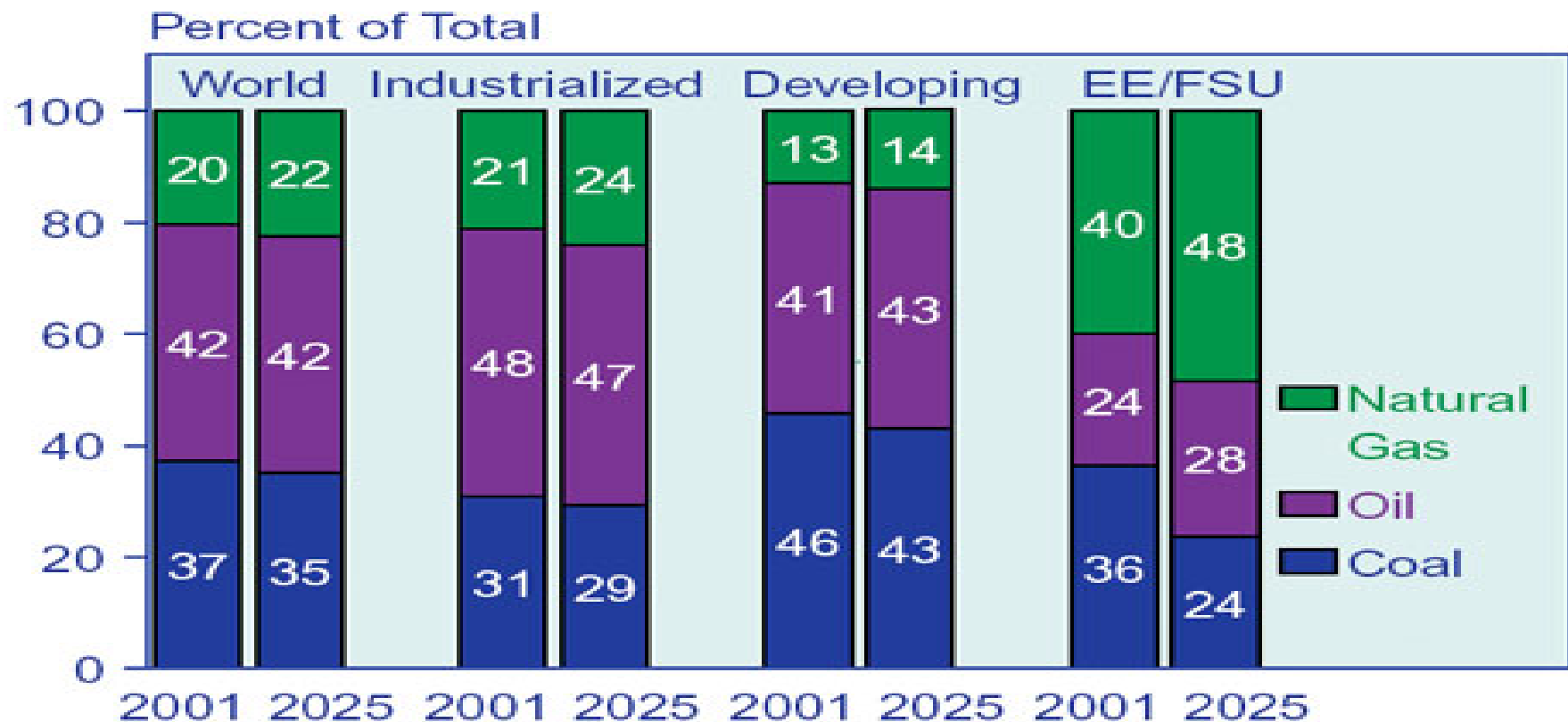
Figure 72. World Carbon Dioxide Emissions by Region, 1990-2025



Sources: **History:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2001*, DOE/EIA-0219(2001) (Washington, DC, February 2003), web site www.eia.doe.gov/iea/. **Projections:** EIA, *System for the Analysis of Global Energy Markets* (2004).

2 – O ambiente e os combustíveis fósseis

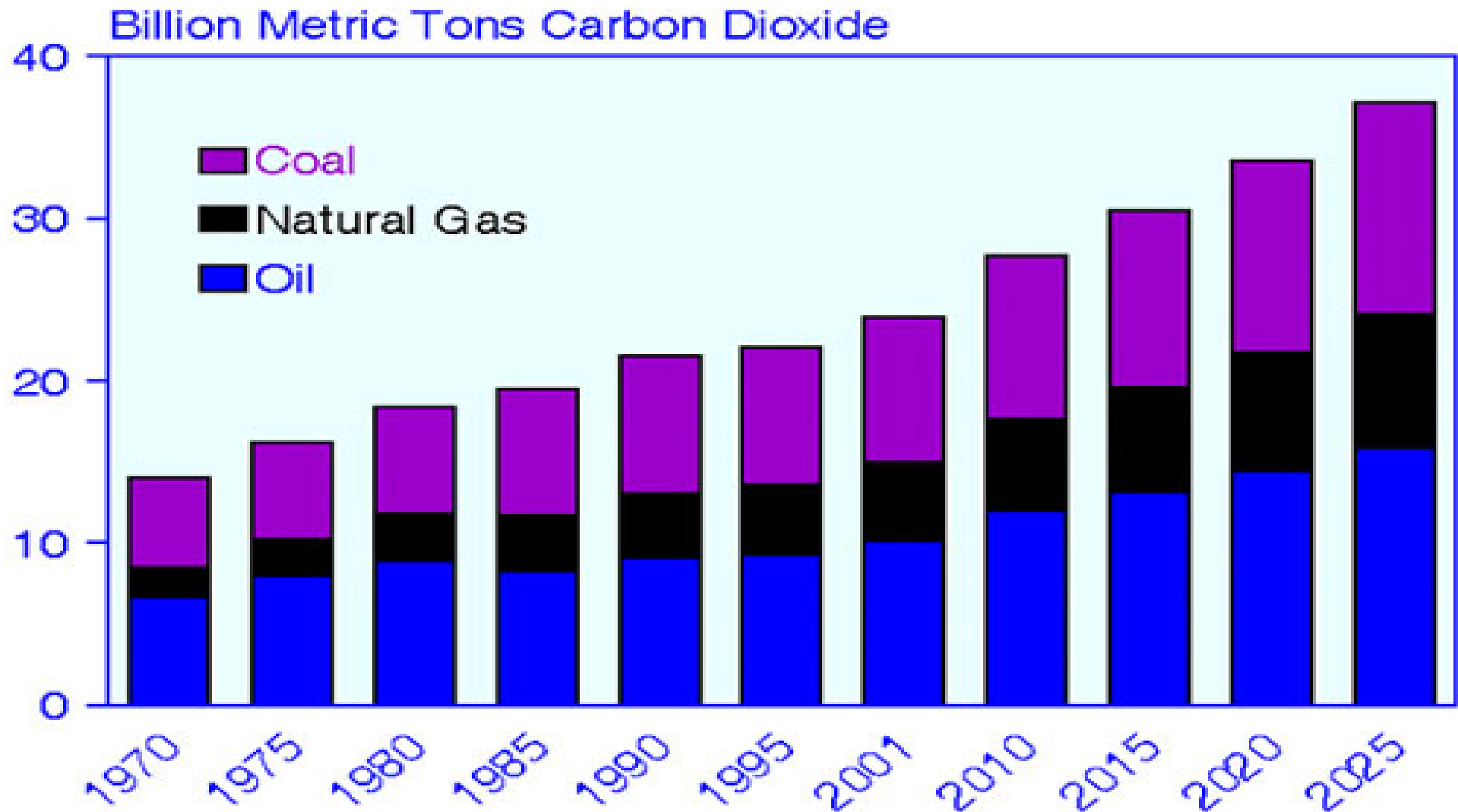
Figure 73. Shares of World Carbon Dioxide Emissions by Region and Fuel Type, 2001 and 2025



Sources: **2001:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2001*, DOE/EIA-0219(2001) (Washington, DC, February 2003), web site www.eia.doe.gov/iea/. **2025:** EIA, *System for the Analysis of Global Energy Markets* (2004).

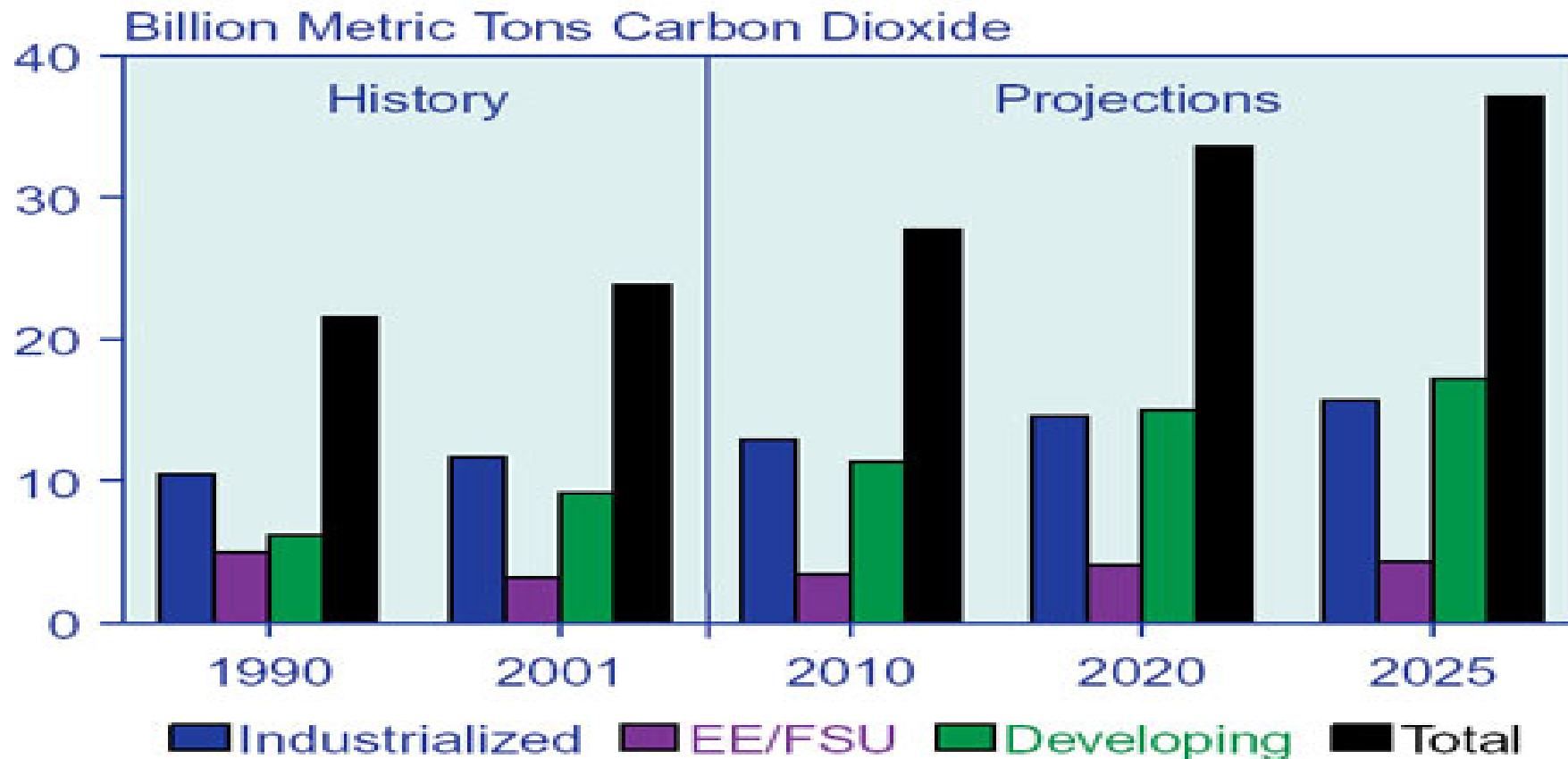
2 – O ambiente e os combustíveis fósseis

Figure 8. World Carbon Dioxide Emissions by Fossil Fuel, 1970-2025



2 – O ambiente e os combustíveis fósseis

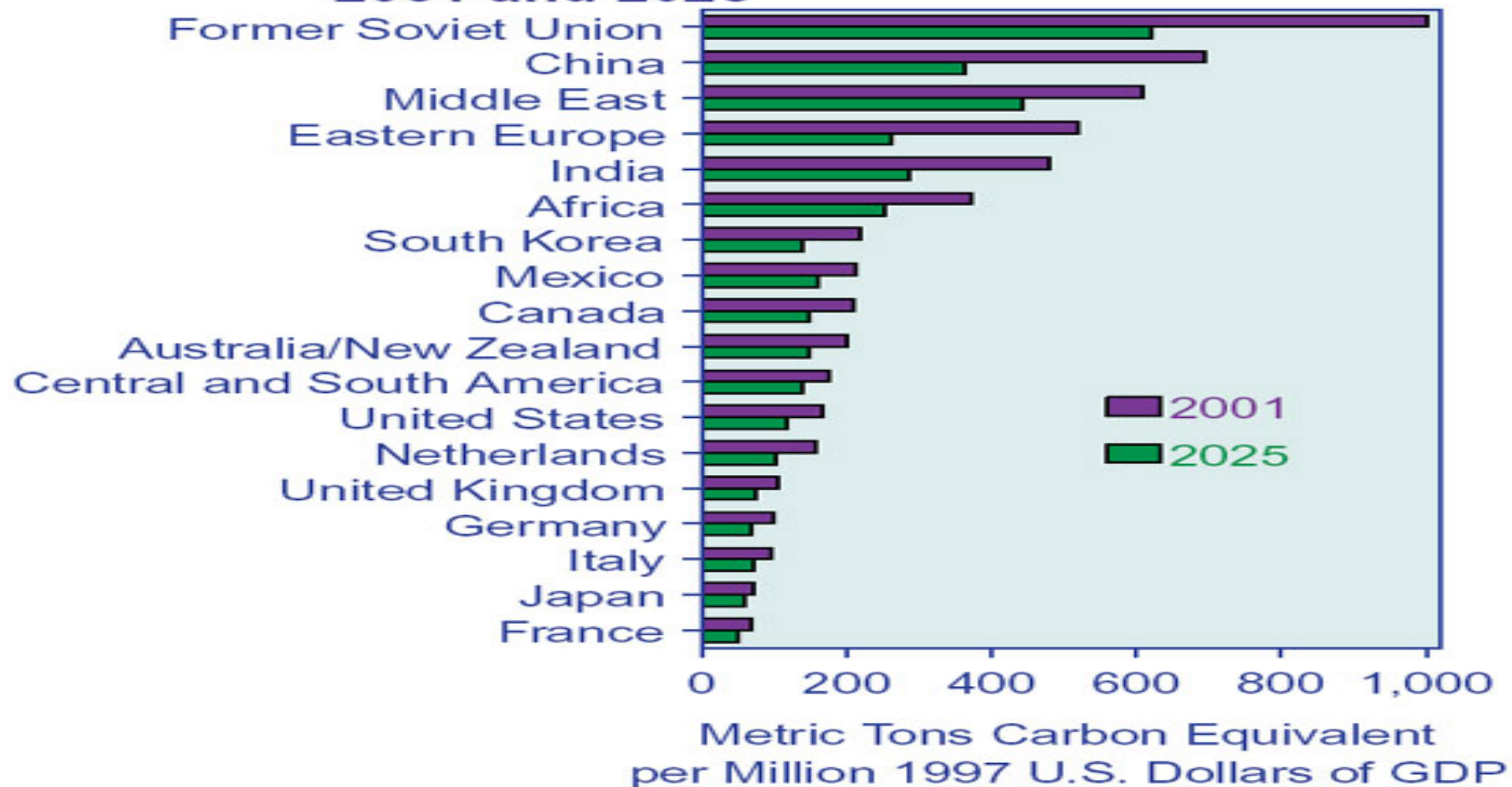
Figure 9. World Carbon Dioxide Emissions by Region, 1990-2025



Sources: **History:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2001*, DOE/EIA-0219(2001) (Washington, DC, February 2003), web site www.eia.doe.gov/iea/. **Projections:** EIA, *System for the Analysis of Global Energy Markets* (2004).

2 – O ambiente e os combustíveis fósseis

Figure 11. World Carbon Dioxide Intensity by Selected Countries and Regions, 2001 and 2025



Sources: **2001:** Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2001*, DOE/EIA-0219(2001) (Washington, DC, February 2003), web site www.eia.doe.gov/iea/. **2025:** EIA, *System for the Analysis of Global Energy Markets* (2003).

2 – O ambiente e os combustíveis fósseis

- ◆ Resumo:

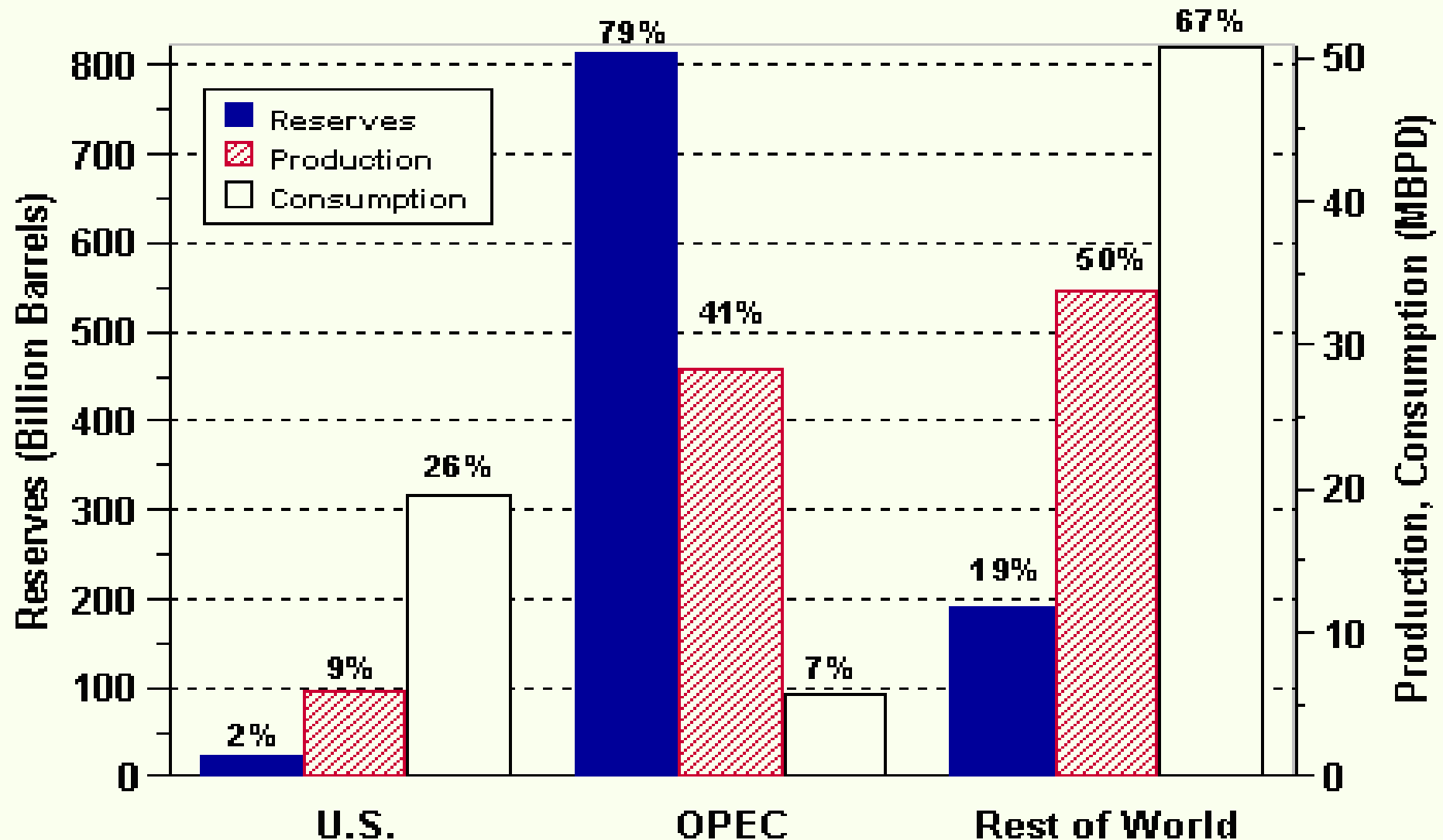
- ◆ Até 2020 - 2025
- ◆ O consumo total de energia aumentará 50-60%
- ◆ As emissões de CO₂ aumentarão ~60%
- ◆ A população mundial chegará a ~7,5 bilhões

Mas :

- ◆ Qual é o problema ?
- ◆ Haverá um problema ?
- ◆ Alguém se preocupa seriamente ?

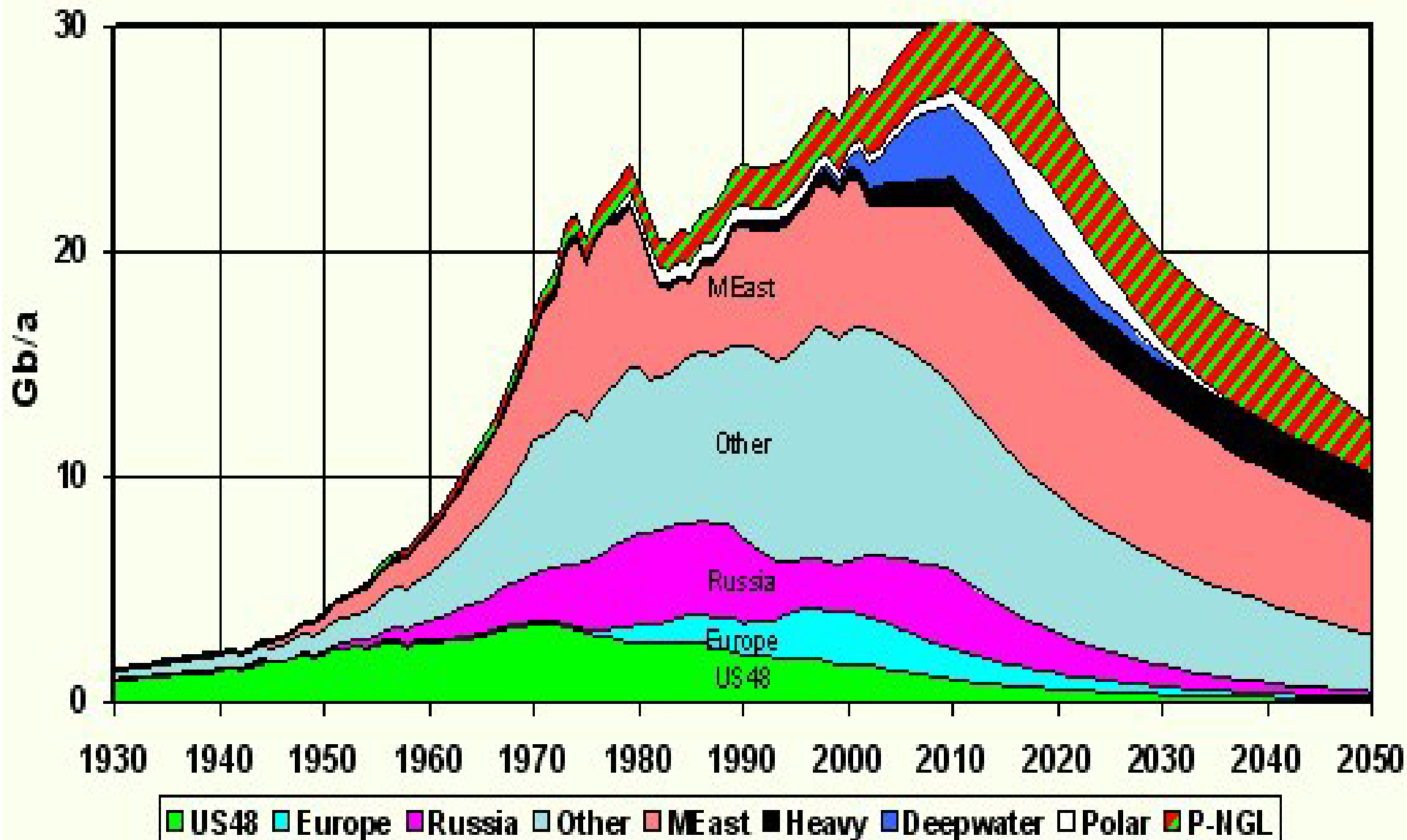
3 - Qual é o problema ? Haverá um problema ?

- As reservas energéticas fósseis
Petróleo ~40 anos (incluindo óleos pesados e betumes)

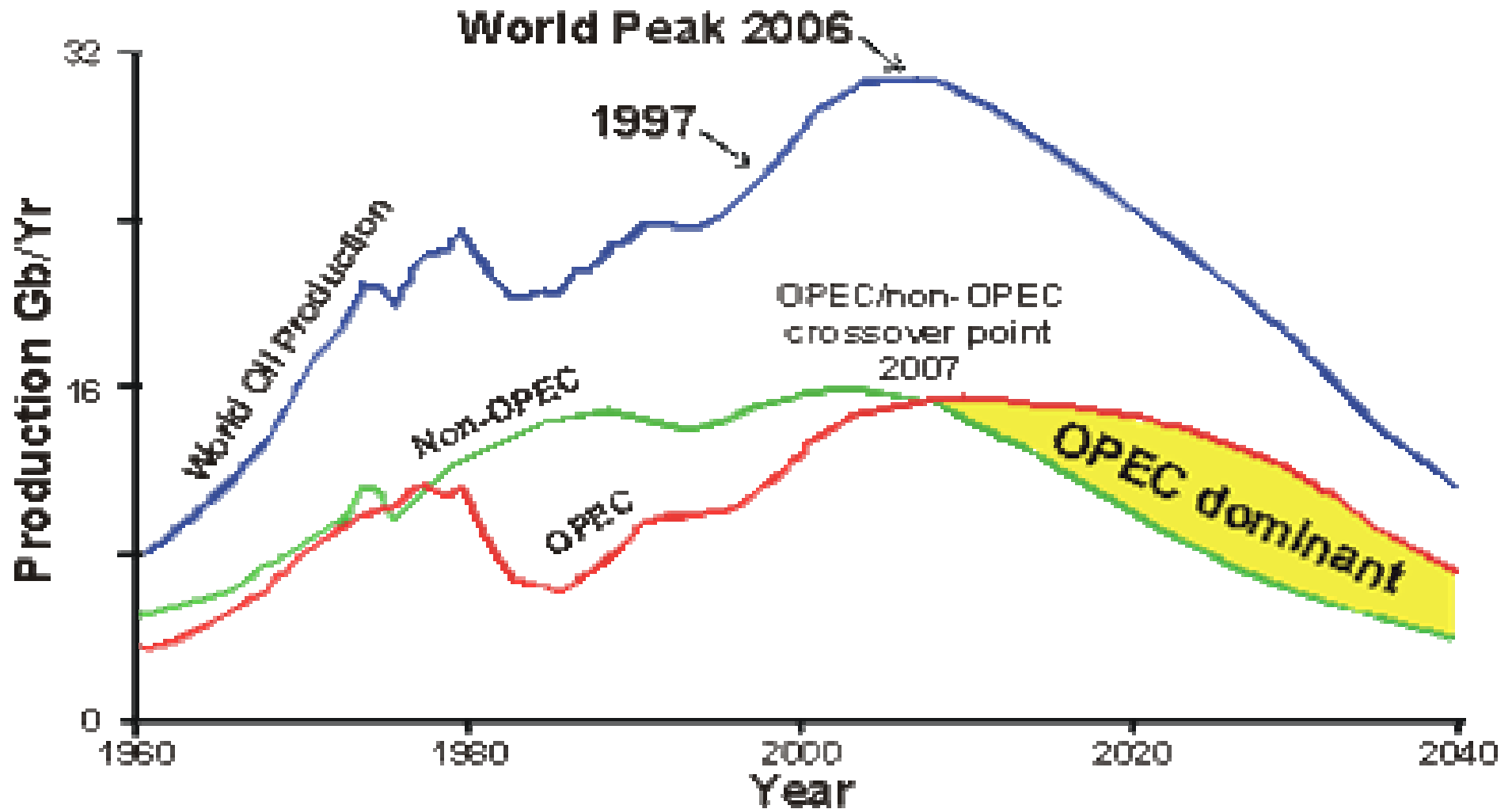


3 - Qual é o problema ? Haverá um problema ?

Porém :



3 - Qual é o problema ? Haverá um problema ?



3 - Qual é o problema ? Haverá um problema ?

- ◆ Além disso algumas das reservas estimadas são de petróleo pesado ou areias betuminosas que precisam de tratamento energético ou gás natural

- ◆ Gás natural ~ 60 anos

Porém :

Em poucos anos as únicas reservas viáveis são as do Oriente Médio e da Rússia.

Exige transporte e cooperação internacional



Energia química
 \cong 55 Bombas de
Hiroshima

3 - Qual é o problema ? Haverá um problema ?

- ◆ Carvão ~ 200 anos

Porém :

De todos os combustíveis fósseis é o mais poluidor

- ◆ Conclusão :

O problema da escassez de combustíveis fósseis não é um problema imediato, embora a curto prazo o pico de produção e o desequilíbrio geográfico das reservas possa causar bastante instabilidade.

Porém :

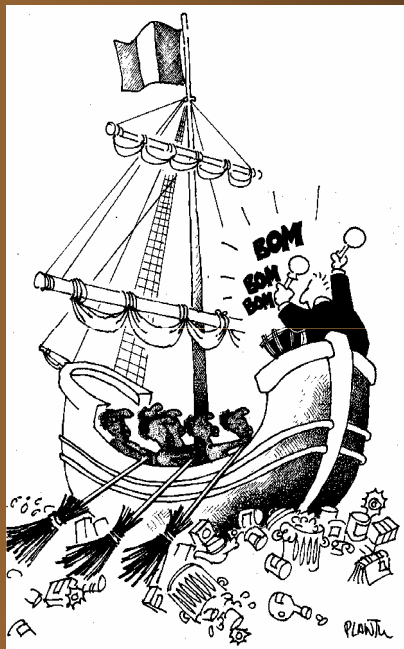
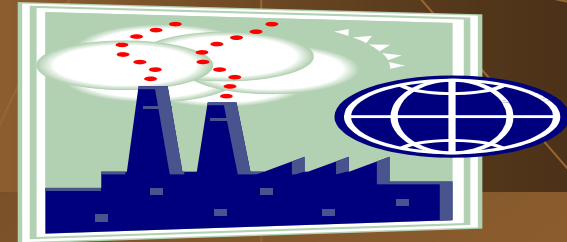
O problema ambiental provocado pelos combustíveis fósseis é incontornável

3 - Qual é o problema ? Haverá um problema ?



Governos (horizonte temporal de 4 ou 5 anos) :
O problema não é urgente !

- ◆ **Grandes companhias** (horizonte de um ano + cotações em bolsa)
Carências, flutuações de preços, reconstruções, fraquezas governamentais, estados em crise, etc, são oportunidade de negócio
No hay problema !

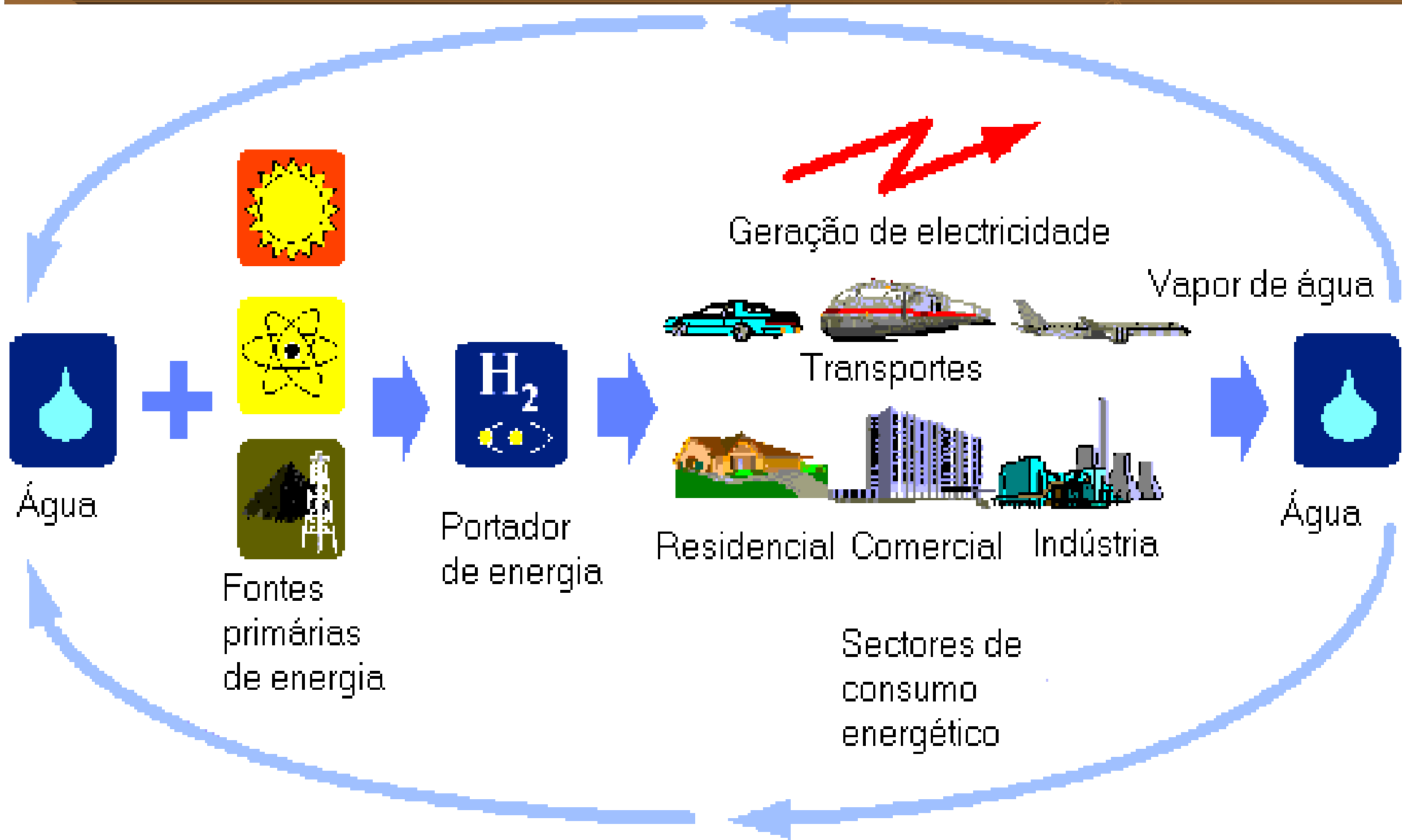


Super-organismos económicos
(que “governam” o planeta ?)
Cidadãos (e governos) em crise ou com carências são mais facilmente “governáveis”
No problem !

Portanto é “apenas” um problema de sofrimento humano e bloqueio do desenvolvimento humano
Mas quem é que responde pelo homem ?



4 - O papel do hidrogénio



Uma visão idílica ??

4 - O papel do hidrogénio

- ◆ Usado como fonte de energia (térmica, eléctrica, química ou mecânica) o hidrogénio não é poluente.

- ◆ ***Porém tal como a electricidade não é uma fonte primária de energia***

Só é não-poluente se for produzido de modo não poluente.

Doutro modo apenas transfere a poluição do lugar do consumidor para o do produtor.

- ◆ Tem em relação ao outro veículo de energia (a electricidade) a vantagem de ser mais fácil de armazenar, embora com um consumo apreciável de energia.

- ◆ Outros usos do hidrogénio :

Fertilizantes, conversão de petróleo pesado ou betumes

5 – A produção do hidrogénio

- ◆ A partir do gás natural (reformador de vapor)
- ◆ A partir de combustíveis líquidos (reformador de vapor)
- ◆ Ciclo térmico a alta temperatura
- ◆ Electrólise
- ◆ Produção biológica

Primary energy sources

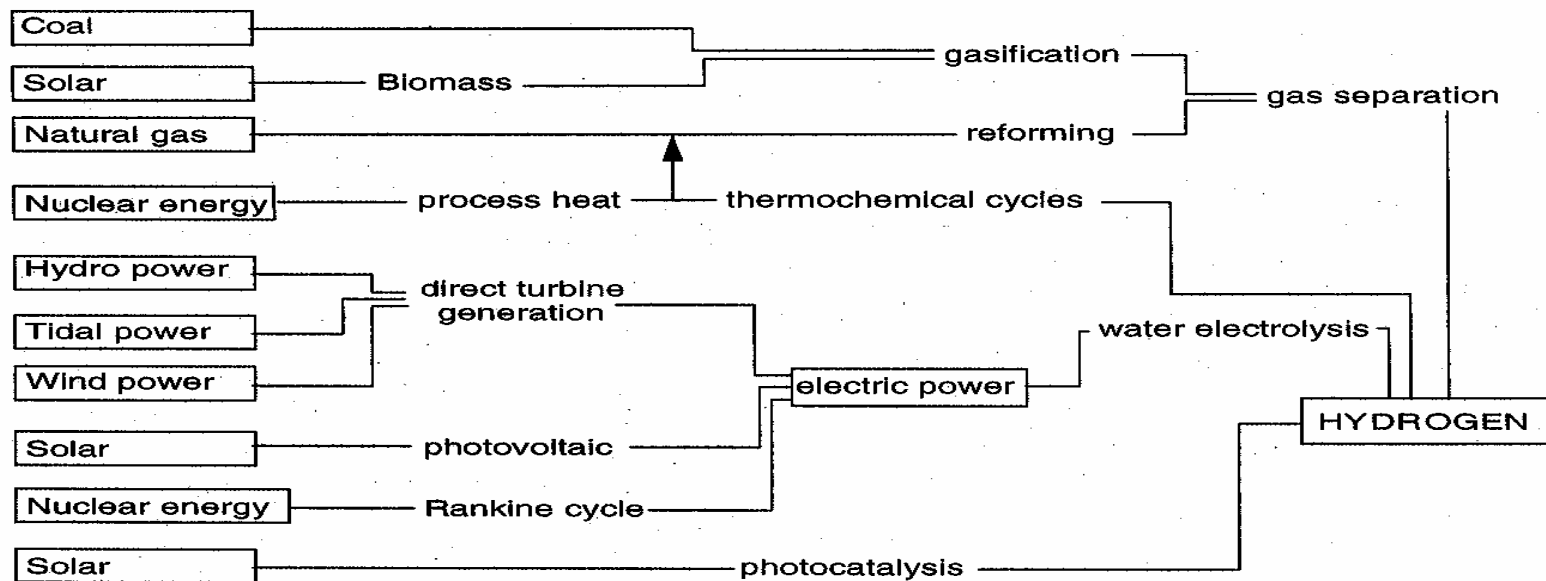
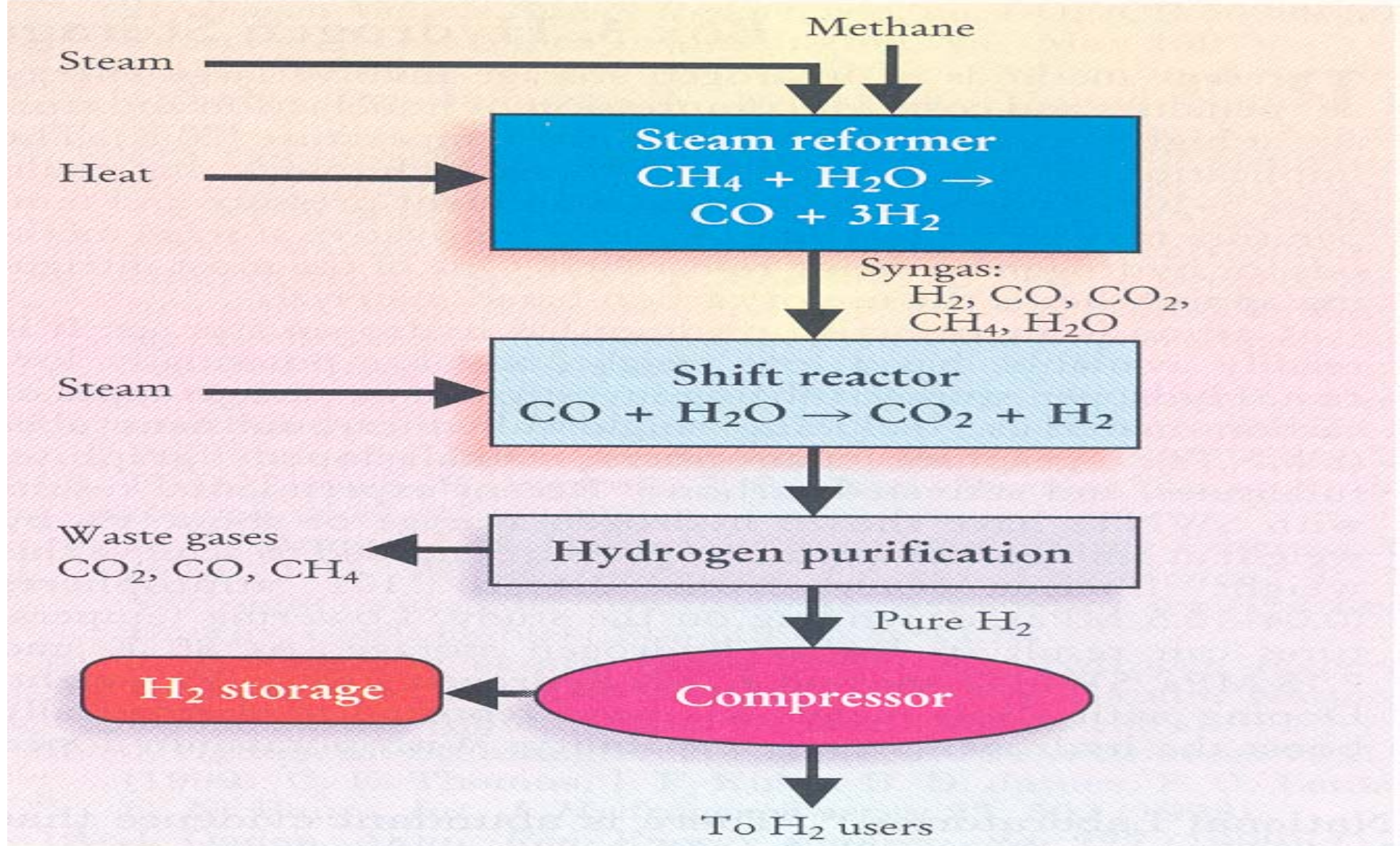


Fig. 2. The primary energy sources considered and their routes to hydrogen.

5 – A produção do hidrogénio

- ◆ A partir do gás natural



5 – A produção do hidrogénio

- ◆ A partir de combustíveis líquidos

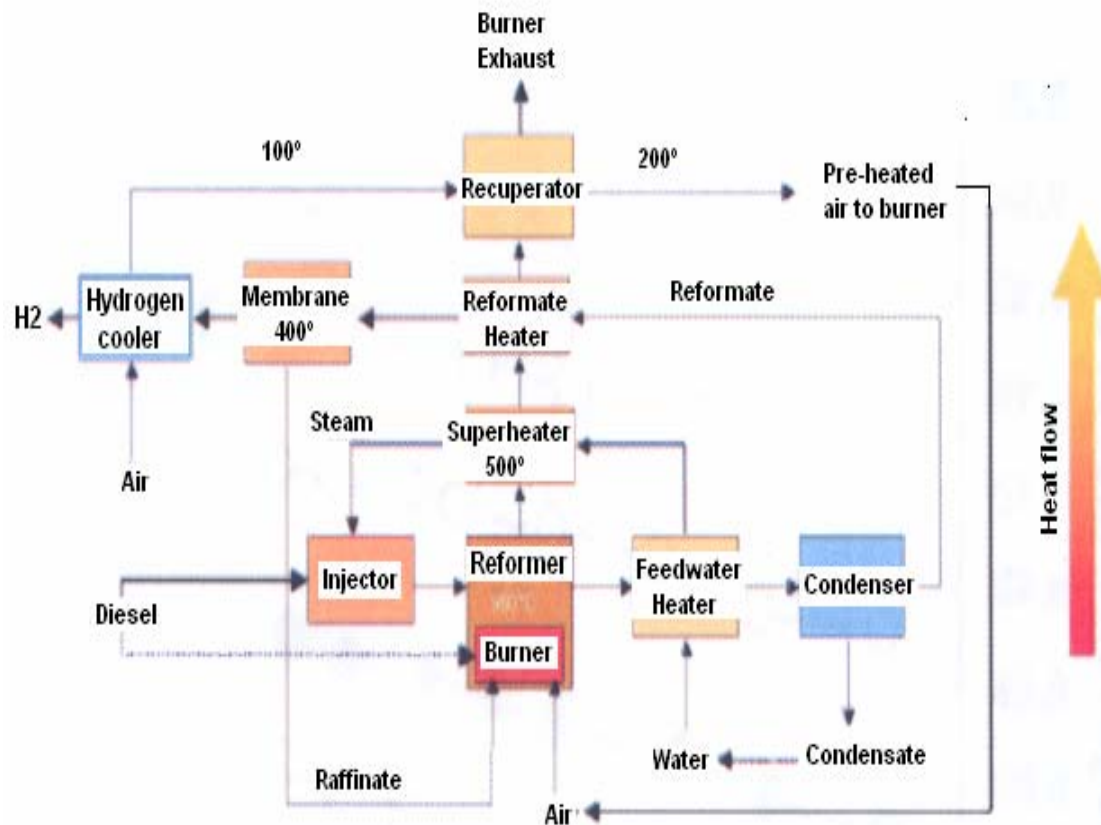


Figure 1. Process and Flow Diagram of the InnovaGen™ Fuel Processor

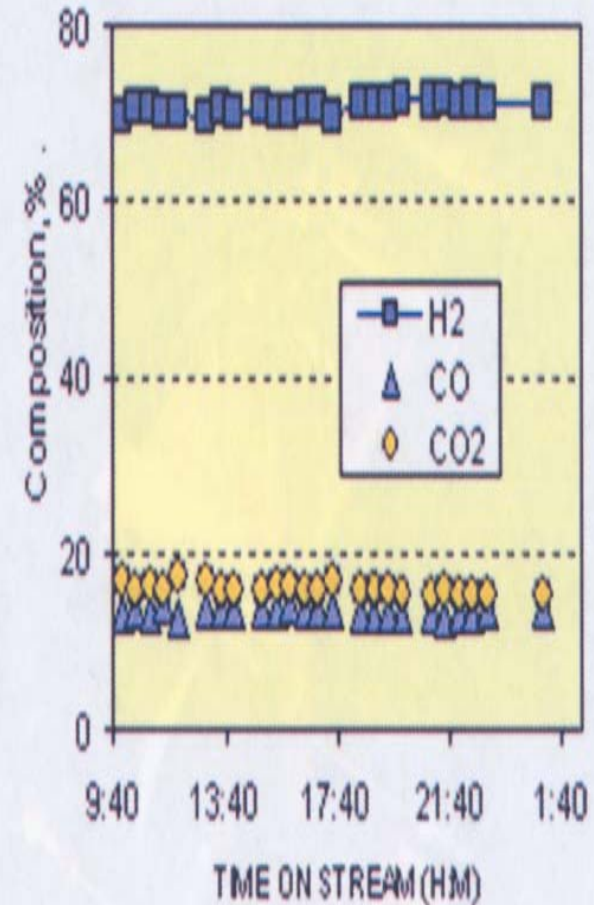
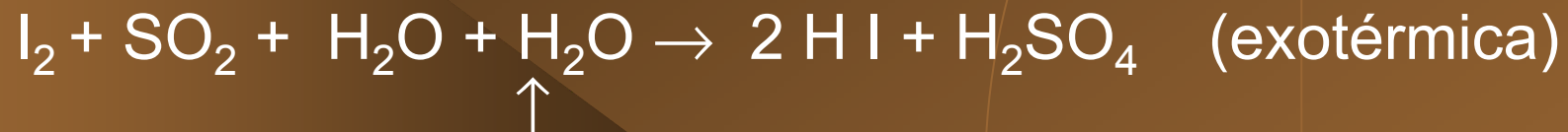


Figure 2. Product Composition from Steam Reforming of Ultra-low Sulfur Diesel Fuel

5 – A produção do hidrogénio

- ◆ Ciclo térmico (alta temperatura)

O processo iodo – enxofre :

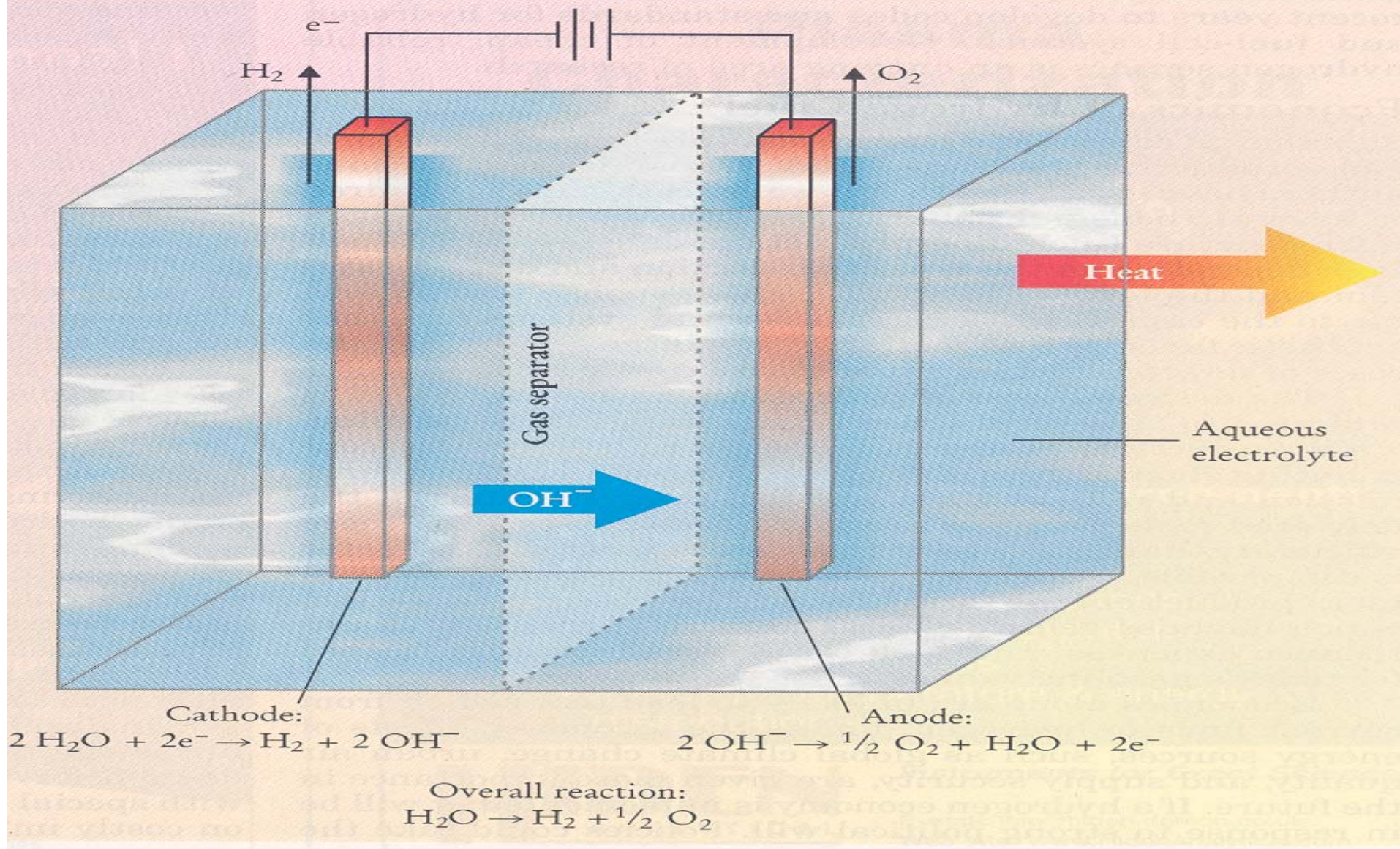


- ◆ Processo efectivo



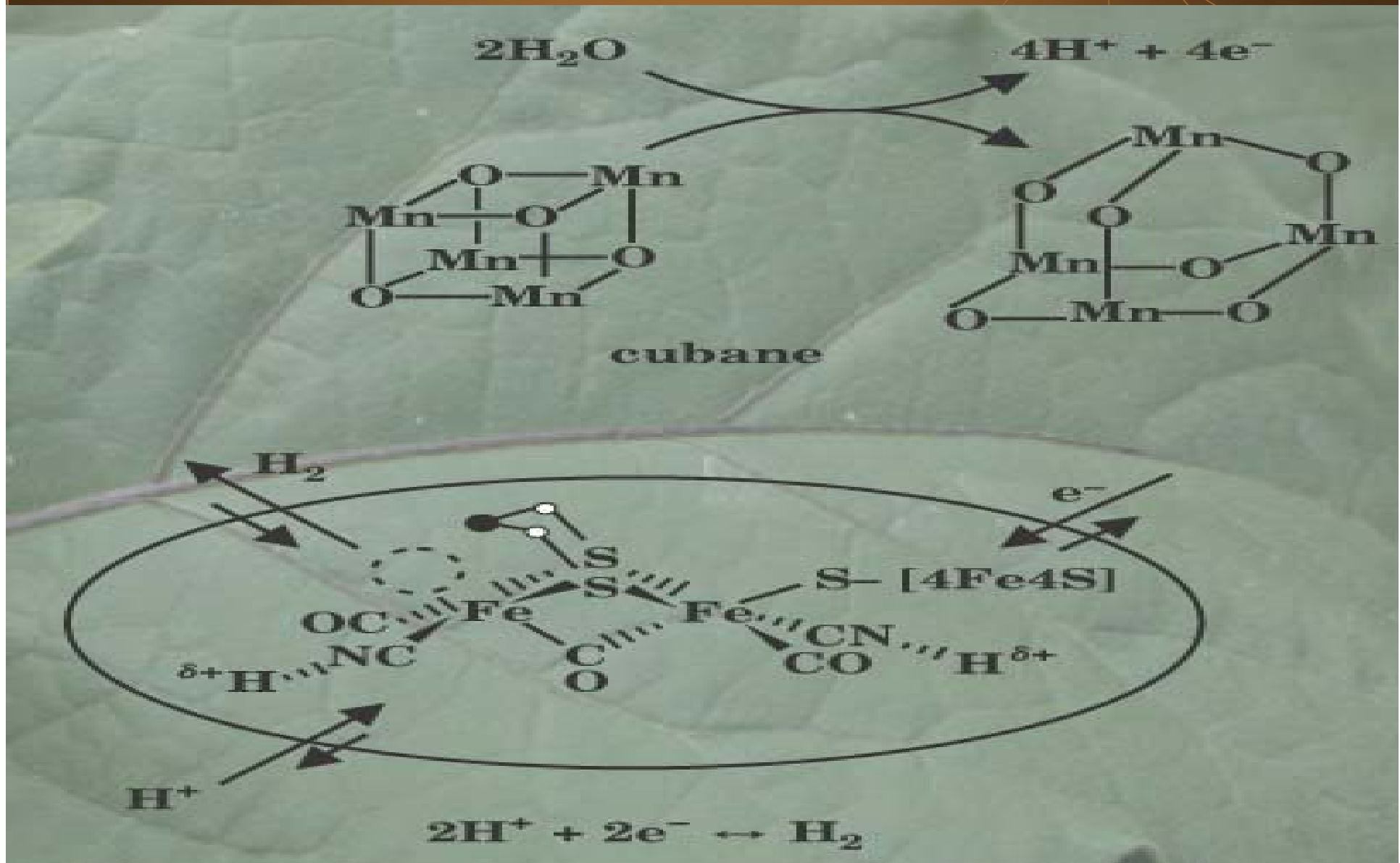
5 – A produção do hidrogénio

◆ Electrólise



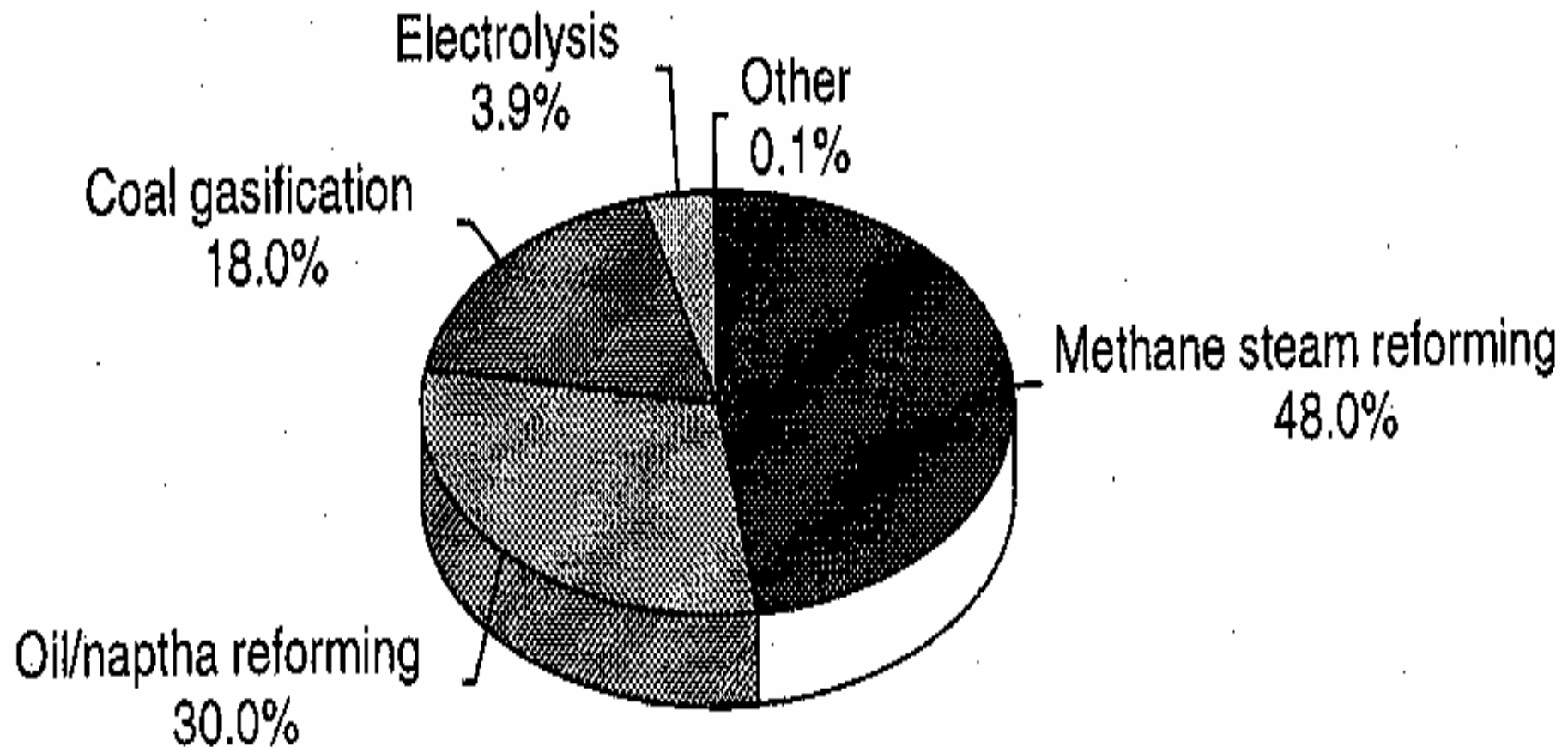
5 – A produção do hidrogénio

- ◆ Produção biológica. Fotosíntese e bactérias



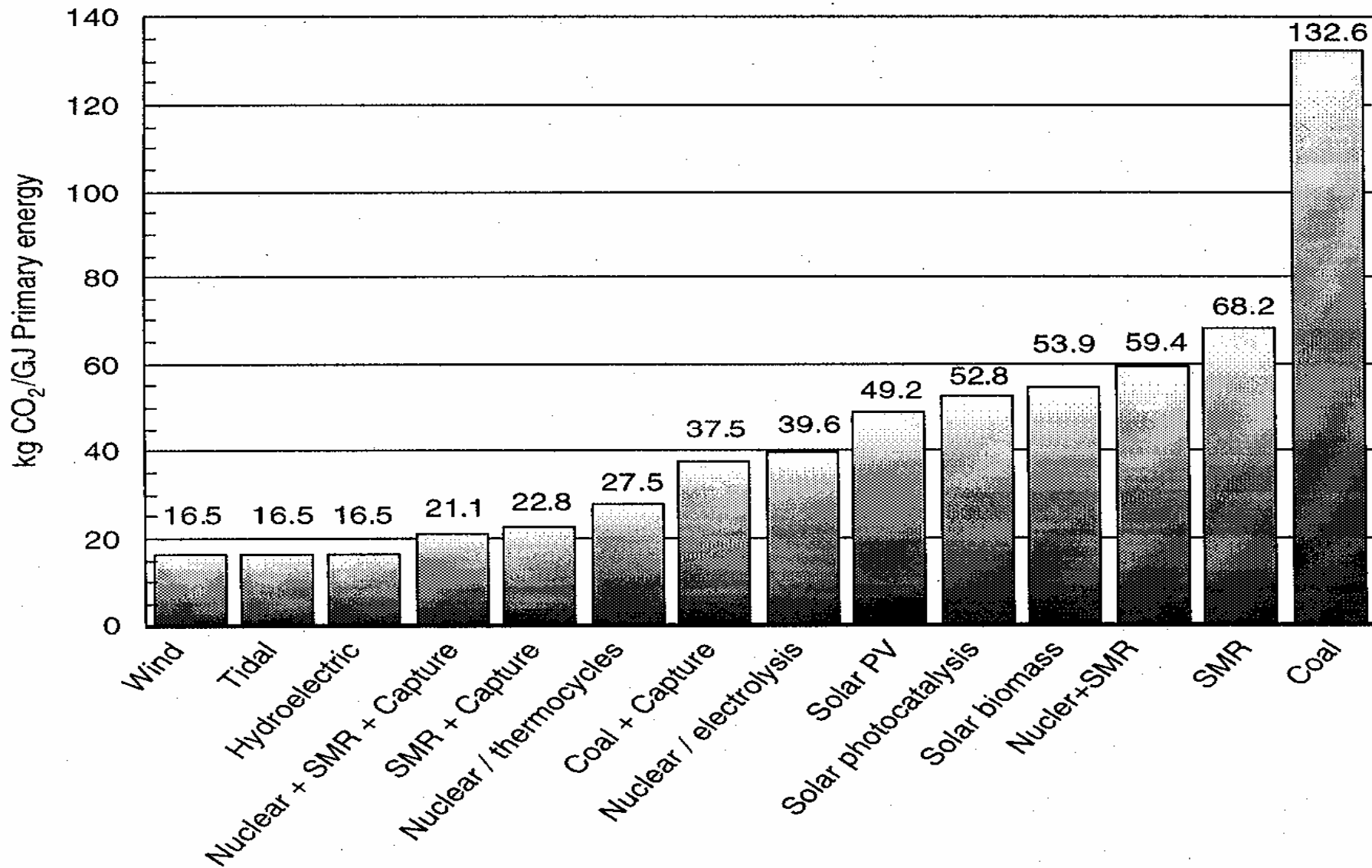
5 – A produção do hidrogénio

◆ Percentagens



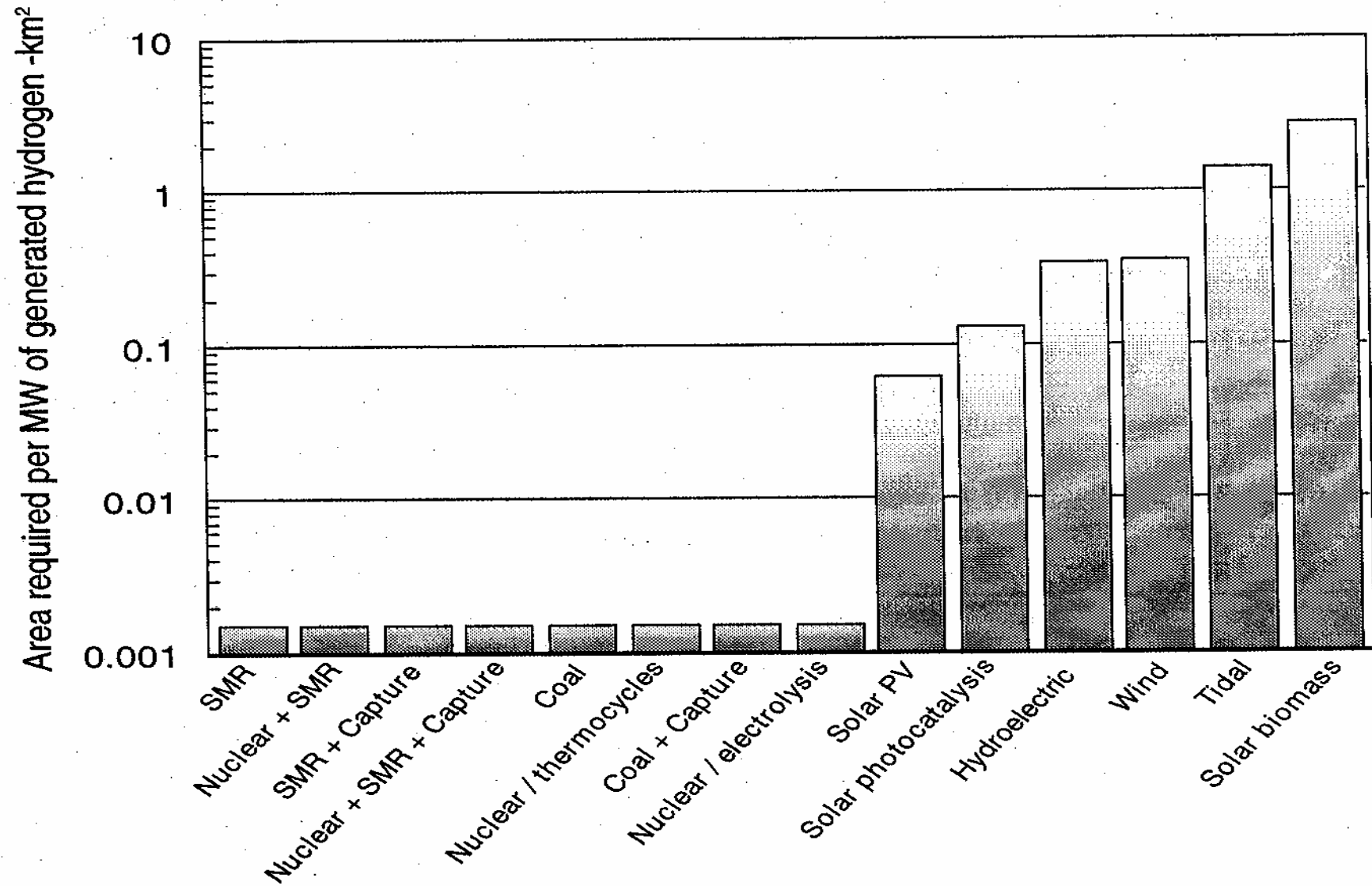
5 – A produção do hidrogénio

- ◆ Emissão de CO₂ (resíduo não evitado em relação a 1GJ de gás natural)



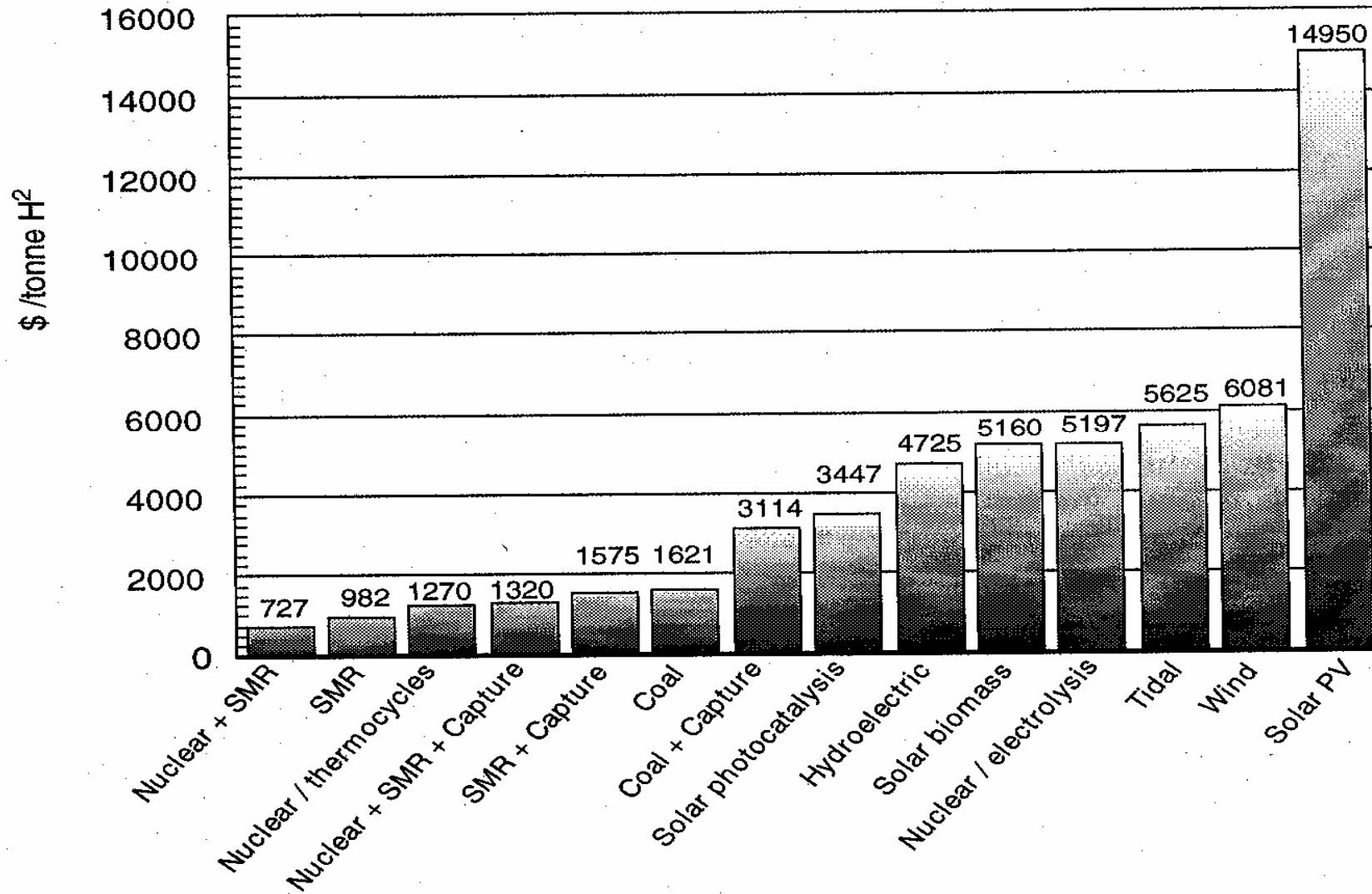
5 – A produção do hidrogénio

◆ Área necessária



5 – A produção do hidrogénio

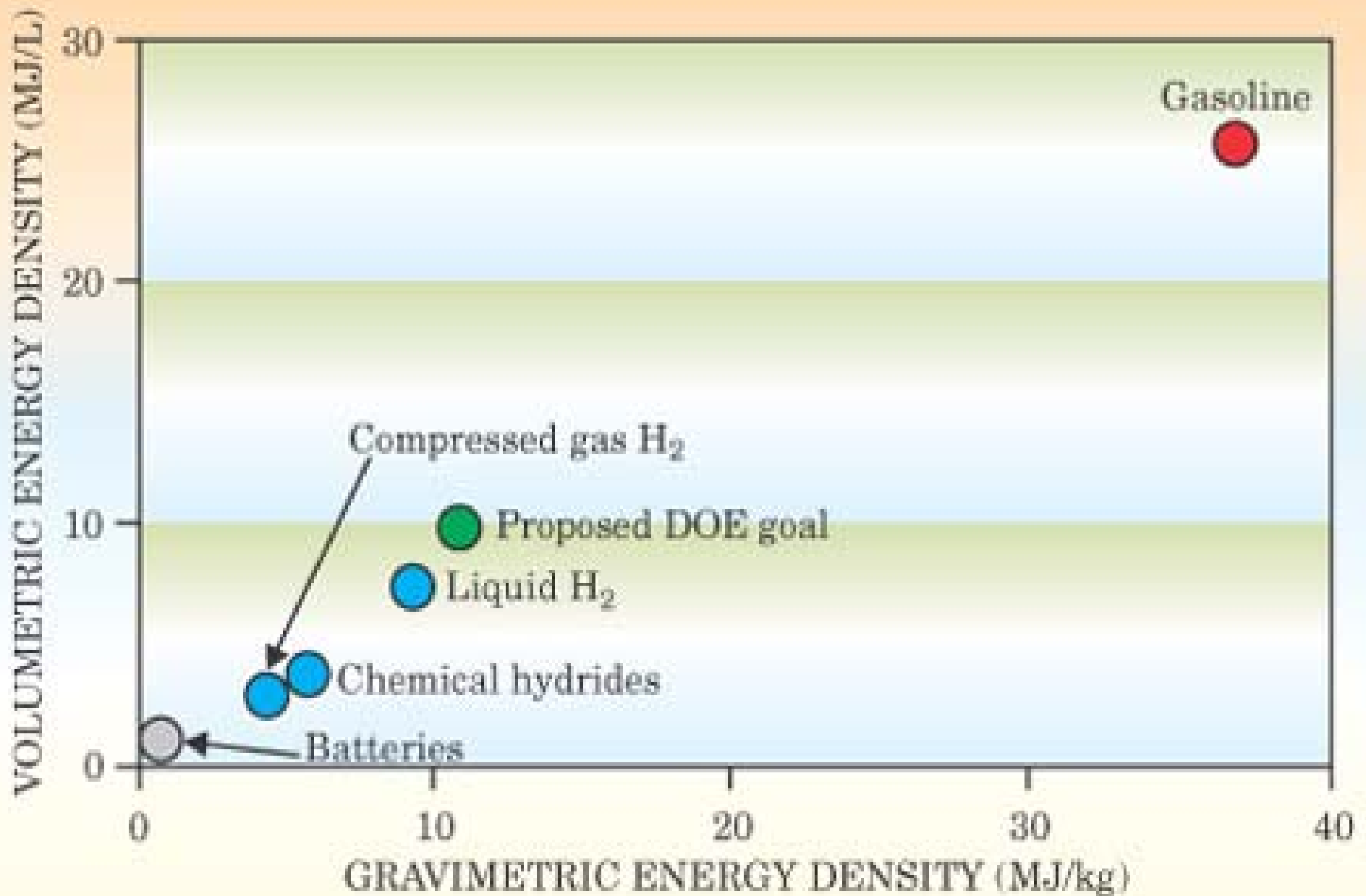
◆ Custo



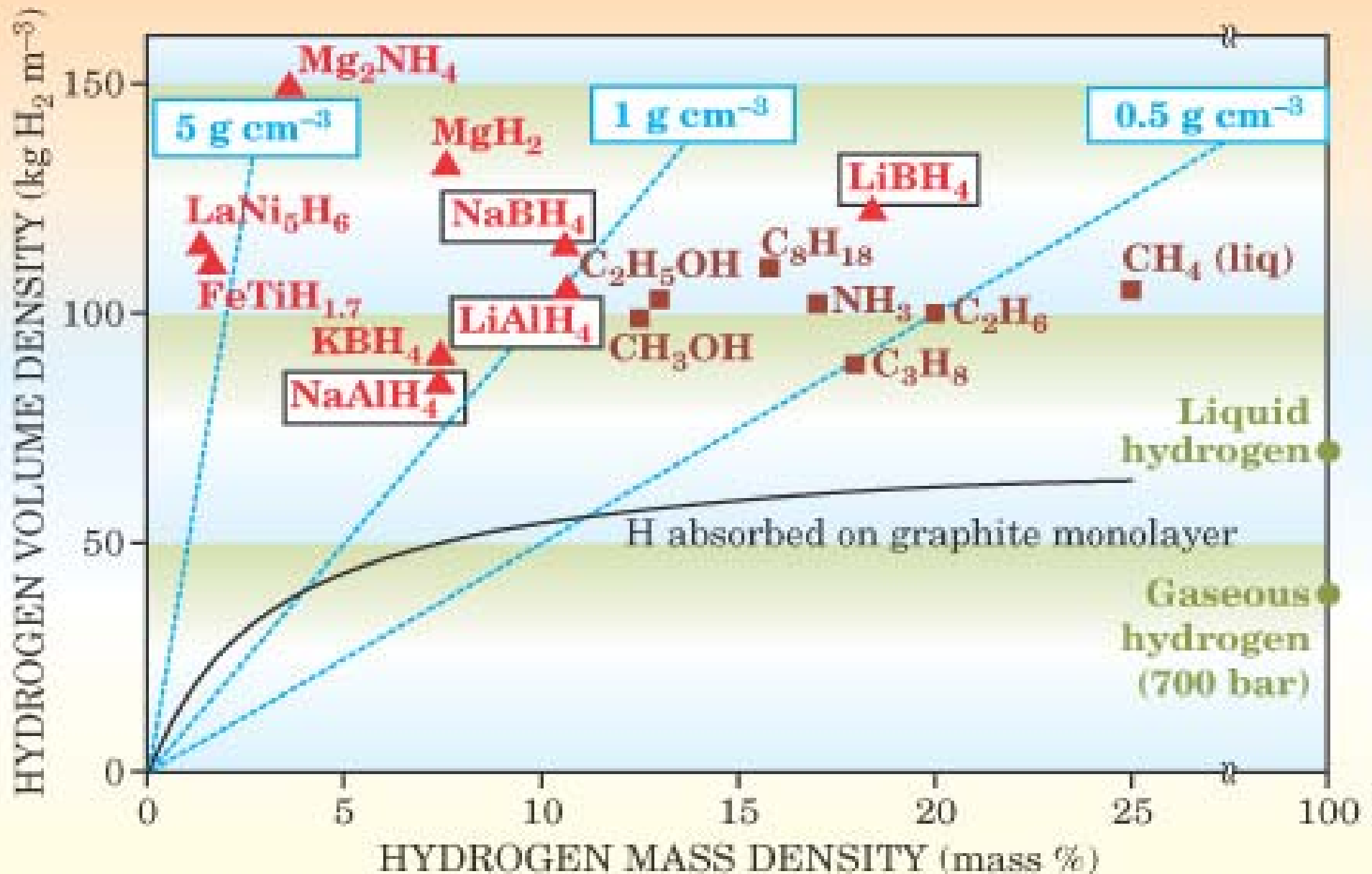
6 – Armazenagem do hidrogénio

- ◆ No estado líquido
(~40% da energia usada na liquefação)
- ◆ Sob pressão
(peso dos depósitos. Importante nos veículos)
- ◆ Em compostos
(capacidade alta e boa recuperação em conflito)

6 – Armazenagem do hidrogénio



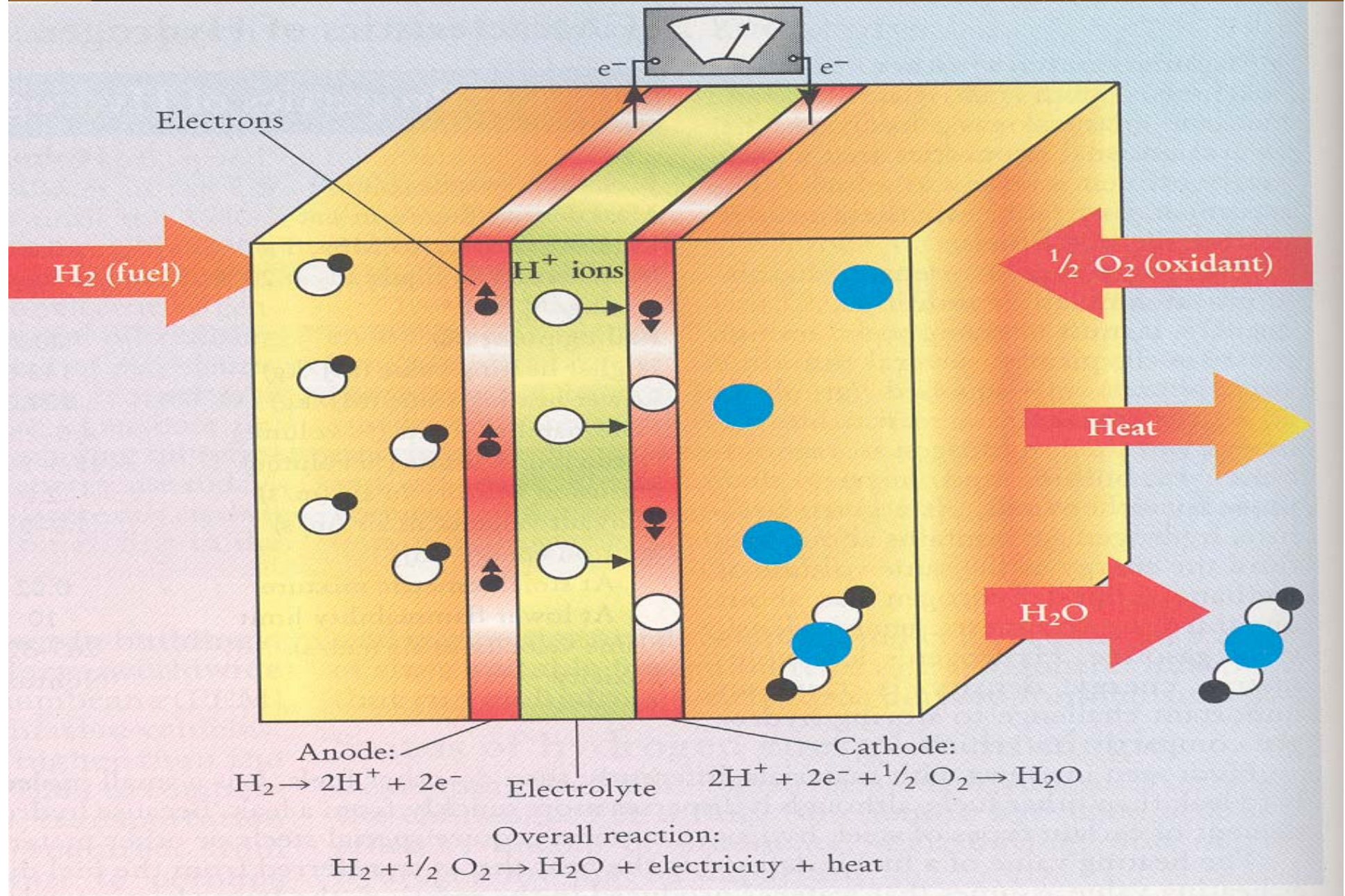
6 – Armazenagem do hidrogénio



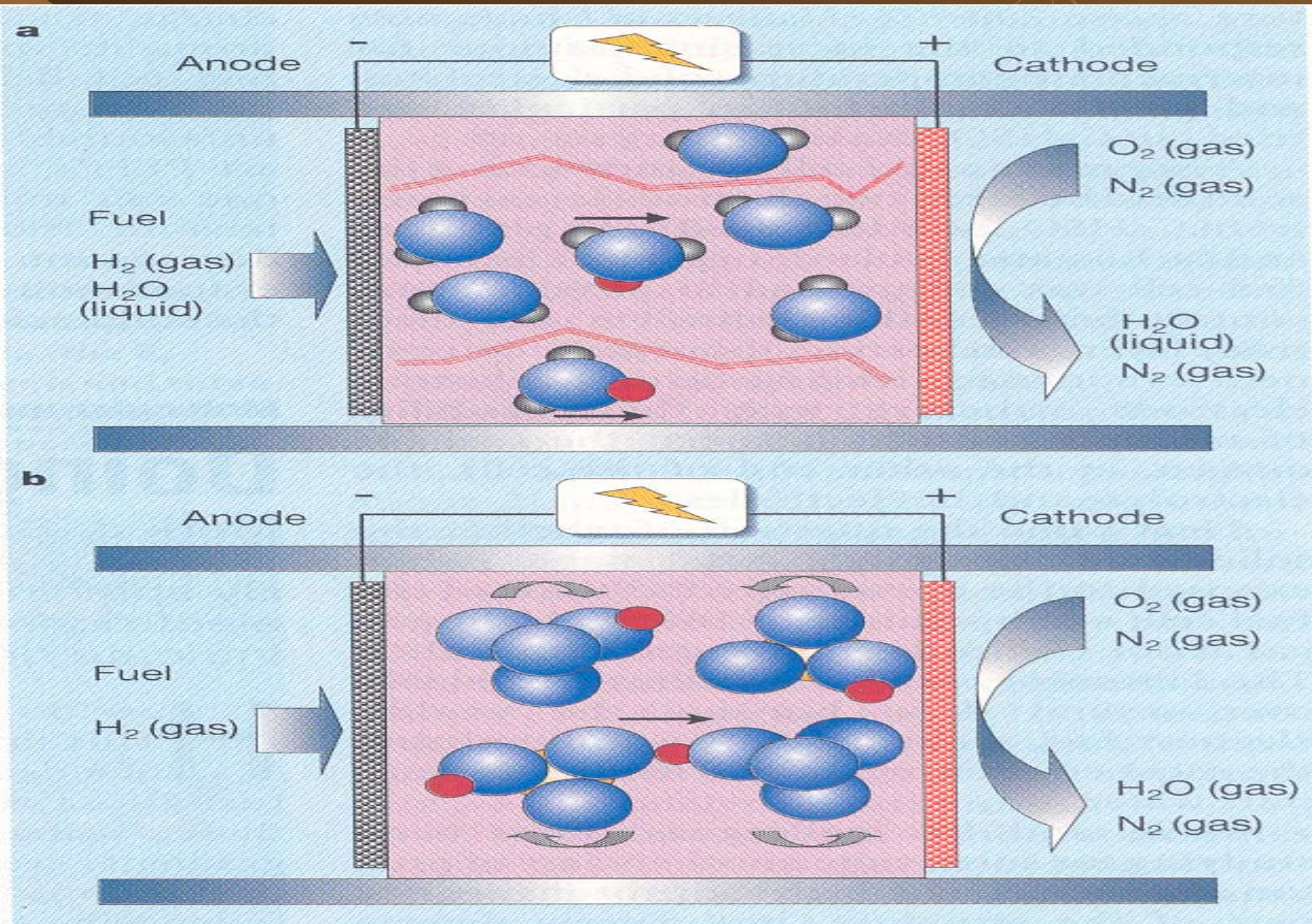
7 - O uso do hidrogénio

- ◆ Combustão
- ◆ Fertilizantes
- ◆ Enriquecimento de produtos petrolíferos
- ◆ Pilhas de combustível

7 - O uso do hidrogénio



7 - O uso do hidrogénio



7 - O uso do hidrogénio

- ◆ Pilhas PEM (*proton exchange membrane* ou *polymer electrolyte membrane*)

- Baixa temperatura \Rightarrow Catalizador de platina
- CO destrói catalizador de Pt \Rightarrow H₂ muito puro
- Energia perdida na recirculação da água para o anodo
- Não se pode usar metanol. Difusão através da membrana

- ◆ Pilhas de ácido sólido

(só alguns hidrogénios substituídos, Exemplo: CsHSO₄)

Acima da temperatura de transição superprotónica (140° para CsHSO₄) prótons são conduzidos entre os grupos oxianiões em rotação (SO₄²⁻)

- A alta temperatura há produção de vapor, não água. O electrólito permanece intacto.
- Catalizadores mais baratos
- O electrólito é impermeável ao metanol
- Arranque mais lento que as PEM

8 – A substituição dos combustíveis fósseis ?

A energia fotovoltaica



Ótima para usos especiais,
lugares isolados, etc.

Porém :

- 5Q/ano por 1000km² nas zonas temperadas
⇒ grandes áreas, ≅ 10 km² para 400 Q (0.15*0.5 rendimento)

- Energia efectiva ($Q_{EF} = Q_P - Q_{OP} - E/T$)
Para células fotovoltaicas implica um funcionamento
de 3-7 anos para repôr o investimento energético

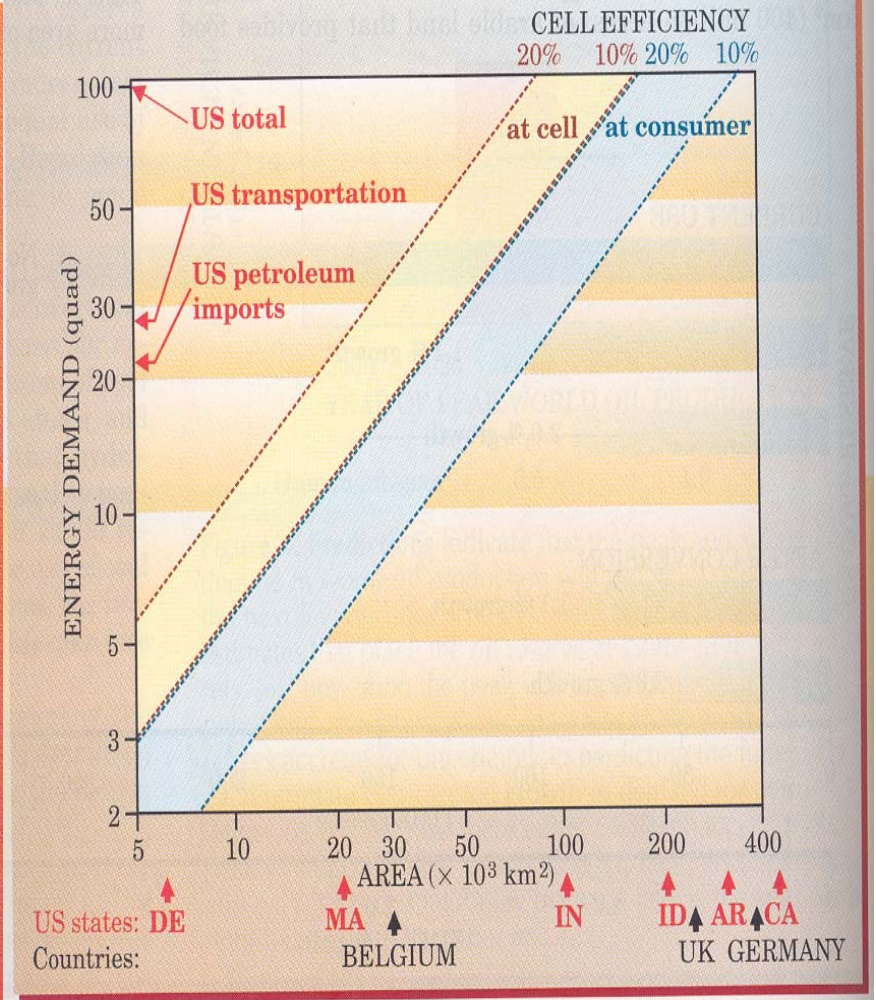


8 – A substituição dos combustíveis fósseis ?

Solar Cell Area Requirements to Meet Energy Demand in Select Countries

	Energy consumed per year*		Land area 10 ³ km ²	Approximate solar cell area needed	
	Quads per 10 ⁶ people	Total quads		10 ³ km ²	% of land
US	0.36	100	9 591	263	2.7
Belgium	0.27	2.7	30	7	24.0
Australia	0.19	4.8	7 580	13	0.2
Russia	0.17	26	16 981	69	0.4
Japan	0.17	21.8	372	58	15.4
Germany	0.17	14	356	37	10.3
UK	0.17	10	243	26	10.8
France	0.17	10	546	26	5.0
Brazil	0.05	8.6	8 466	23	0.3
China	0.03	32	9 377	84	0.9
Egypt	0.03	2.0	996	5	0.5

*Data from Department of Energy/Energy Information Administration *International Energy Annual 1999*.



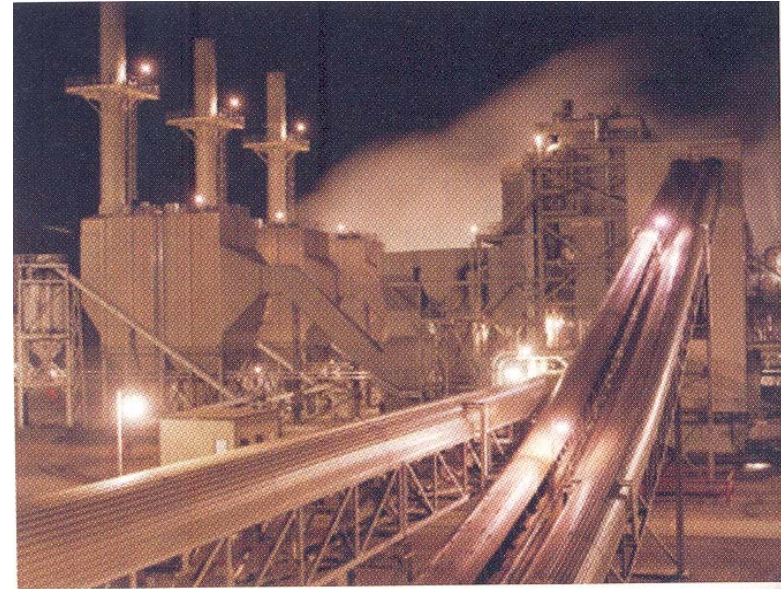
8 – A substituição dos combustíveis fósseis ?

A biomassa

Adequada para o aproveitamento de resíduos agrícolas, florestais, etc.

Porém :

- 0.005 Q por 1000Km²
- ⇒ multiplicar por um factor de 100 a terra arável para uma conversão total



8 – A substituição dos combustíveis fósseis ?

A energia eólica

Adequada em certas regiões: muito vento e pouca população
Tecnologia bem estabelecida

Porém :

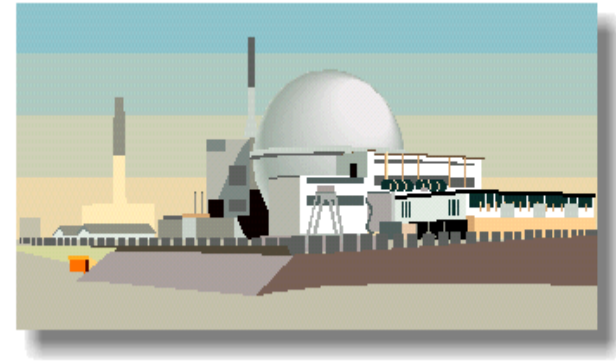
- Grande investimento e manutenção
- Irregularidade de fornecimento
- Problemas de estabilidade das redes
- Em condições muito favoráveis não deverá poder fornecer mais de 10% das necessidades de uma região



8 – A substituição dos combustíveis fósseis ?

A energia nuclear

- A tecnologia corrente de fissão do urânio permitiria usá-lo durante 30-50 anos.
- Reciclando o plutónio, usando regeneradores e (ou) o ciclo do tório, este prazo seria extendido para muitas centenas de anos.



Porém :

- Há sérias preocupações sobre riscos potenciais (Chernobyl, Three Mile Island) e o que fazer aos resíduos radioactivos.
- Um uso extensivo da energia nuclear poria no “mercado” uma quantidade enorme de plutónio.

Em resumo como dizem Nifecker e Huffer num artigo recente : *“Aquecimento global ou lixo nuclear – qual preferem ?”*

E um dia (talvez) a fusão nuclear !

Mas estudos económicos sugerem que para a tornar economicamente competitiva, teriam os reactores de ser usados como regeneradores para produzir combustível para a fissão

Claro que há sempre uma alternativa



Fim

<http://label2.ist.utl.pt/vilela/>

