



FCHg!

Discover  
the energy  
of hydrogen

Grzegorz Karwasz  
Anna Kamińska  
Universidade Nicolau Copérnico

Material didático: Ensino secundário

# „Fontes de energia alternativas” não é o melhor título



Central elétrica, em algum lugar de Alemanha.

Primeiro, não falamos da "produção" da energia mas sobre as suas *conversões*. Os físicos acham que a quantidade total de energia no Universo é mantida.

A massa total, de conformidade com a equação  $E=mc^2$  também é incluída nesse orçamento. A mudança de uma parte de massa em energia é chave da "produção" da energia no núcleo do Sol, nas centrais nucleares e na central elétrica termonuclear projetada em ITER em Cadarache (França).

As "alternativas" fontes de energia também não é uma boa palavra. As vezes dizemos fontes "renováveis" e achamos sobre o vento, água, fotovoltaica e, as vezes, também o uso da biomassa.

Cada "fonte" é condição específica.

# A humanidade na sua história aprendeu utilizar as diferentes "fontes" de energia

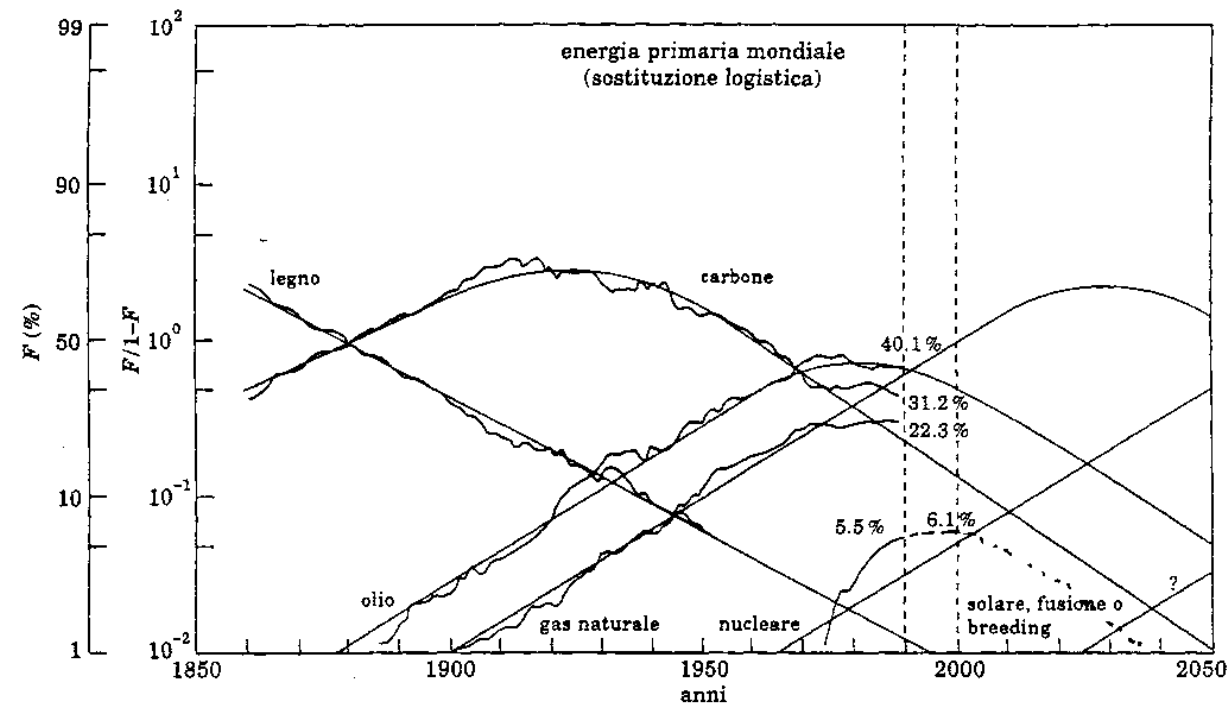


Fig. 3. - Analisi storica (IIASA, C. Marchetti) della evoluzione delle energie primarie a livello mondiale. Le curve di modello seguono i criteri logistici delle sostituzioni di mercato e si proiettano sugli anni futuri dando le previsioni fino al 2050.

É uma velha ilustração, dos anos 90 que apresenta as mudanças das "fontes" de energia. Agora encontramos-nos no final dessas expectativas, então podemos compará-los com a situação real.

Uma observação valiosa que podem fazer aqui é o fato que os diferentes *portadores* de energia conseguem o máximo da sua utilização (carbono nos finais do século XX), mas a curva está a descer.

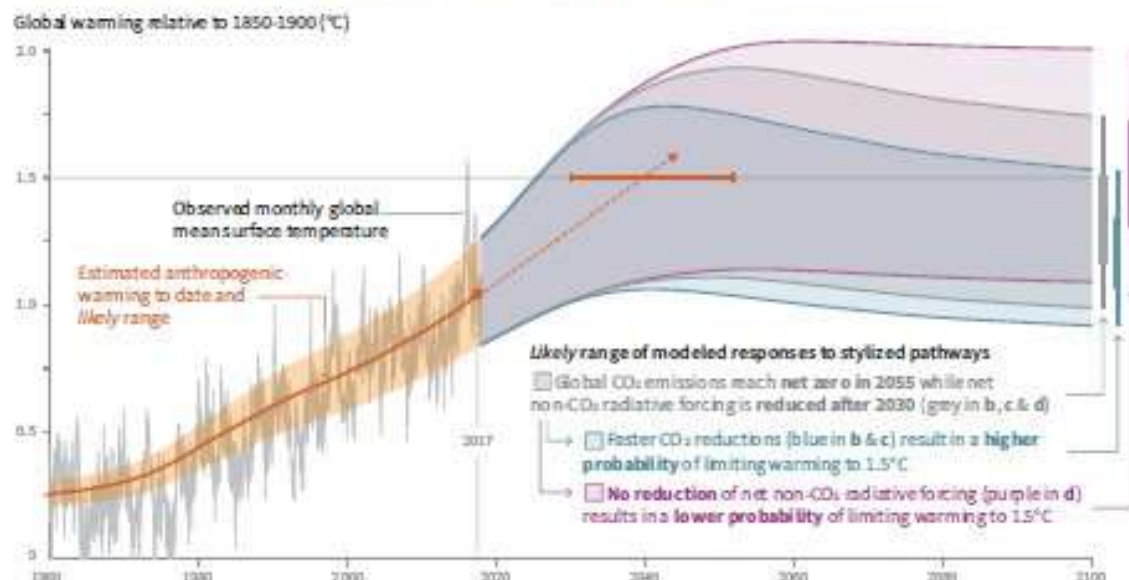
Também vemos que as previsões não contêm os novos inventos como gás de xisto.

O ponto de interrogação diz: solar (já pronta), termonuclear (ainda não acabada) etc.

# Os cenários mais otimistas supõem que vamos deter a emissão do CO<sub>2</sub>

Cumulative emissions of CO<sub>2</sub> and future non-CO<sub>2</sub> radiative forcing determine the probability of limiting warming to 1.5°C

a) Observed global temperature change and modeled responses to stylized anthropogenic emission and forcing pathways



Fica claro que para deter / moderar o processo do aquecimento global, temos de conter a emissão do CO<sub>2</sub>. Os científicos prestam atenção que o período de durabilidade do gás CO<sub>2</sub> emitido são 150 anos.

Lembramos que no passado (distante) as temperaturas da Terra eram um pouco (1-3°C) superiores, o painel IPCC no último relatório (XII 2018) como um dos objetivos propõe o crescimento não maior dos 1,5° até o ano 2040.

Se não fazemos nada para reduzir a emissão CO<sub>2</sub>, a temperatura vai crescer de 2°C.

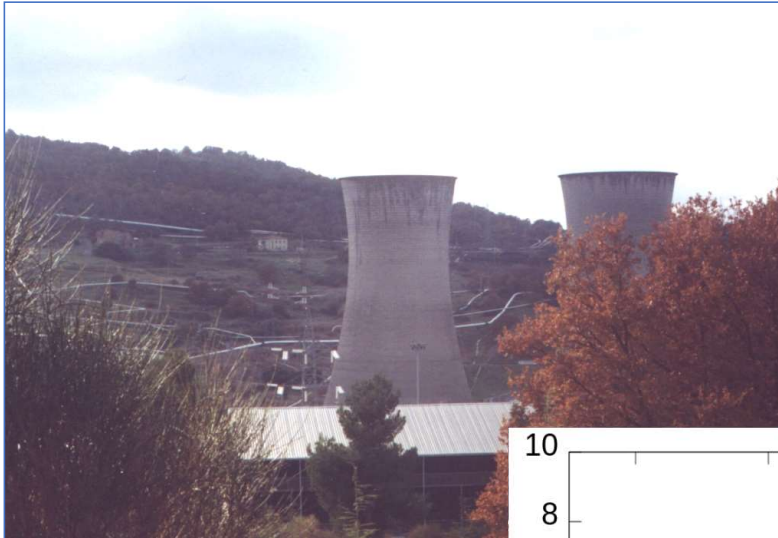
Não mais: não fica tanto carbono para queimar.

IPCC panel, December 2018



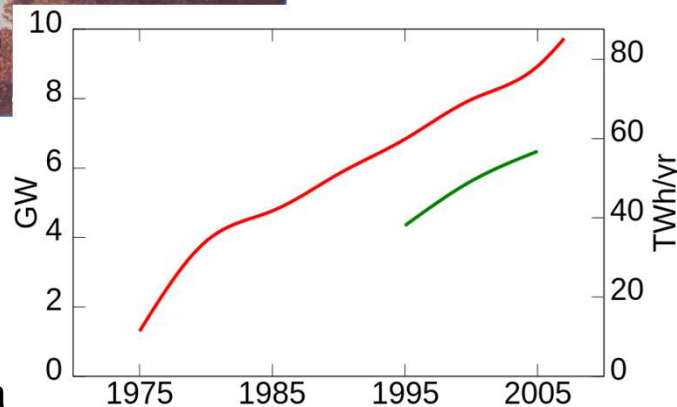
This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

São necessárias as alternativas, quer dizer, as que não emitem CO<sub>2</sub>, fontes de energia: eólicas, geotérmicas, etc.



Central elétrica geotérmica,  
Pozzuoli, Itália

Wikipedia



As fontes geotérmicas da água quente já forma conhecidas na Antiguidade. Alguns países, por exemplo, Islândia, apoiam a sua economia nesse tipo de fontes.

Se comparamos o fluxo-fonte da energia solar (1367 W/m<sup>2</sup>), com o geotérmico (65 mW/m<sup>2</sup>), vamos ver uma enorme diferença.

A metade dessa energia é o calor do interior da Terra que está a resfriar-se todo o tempo, a metade é a energia das decomposições radioactivas (<sup>238</sup>U, <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th).

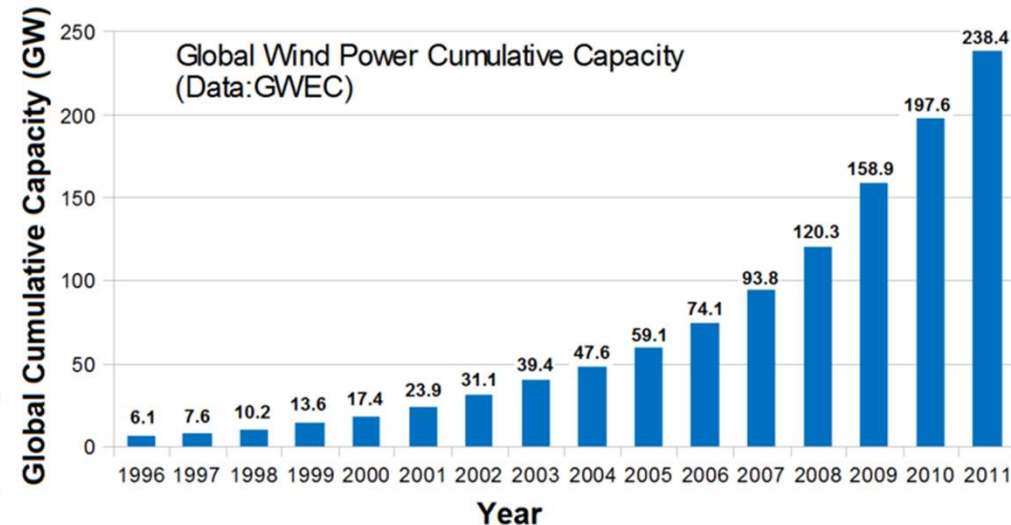
As reservas totais desse tipo de potência são baixas: a potencialidade global de 10 GW garantiriam já 20 blocos das centrais nucleares.

São necessárias as alternativas, quer dizer, as que não emitem CO<sub>2</sub>, fontes de energia: eólicas, geotérmicas, etc.



Na Dinamarca (2018) mais do 40% de la potência das centrais elétricas é fornecida pelas reservas eólicas. A Dinamarca é um país especialmente de muitos ventos. Também os demais países invistam nas centrais elétricas eólicas. Até a Itália "solar" obtém um 3% de potência do vento. O crescimento, na escala global, é exponencial (veja abaixo).

Ø 10m → 20-30 kW  
Ø 90m → 3 MW = 1000 casas



Painel IPCC, dezembro 2018

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement... The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy,

# Os mais prometedores parecem os painéis fotovoltaicos

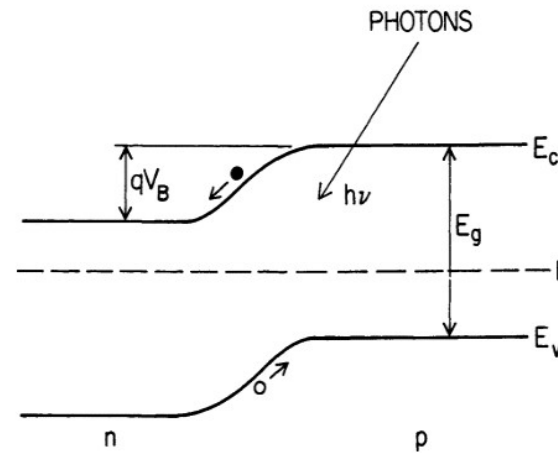
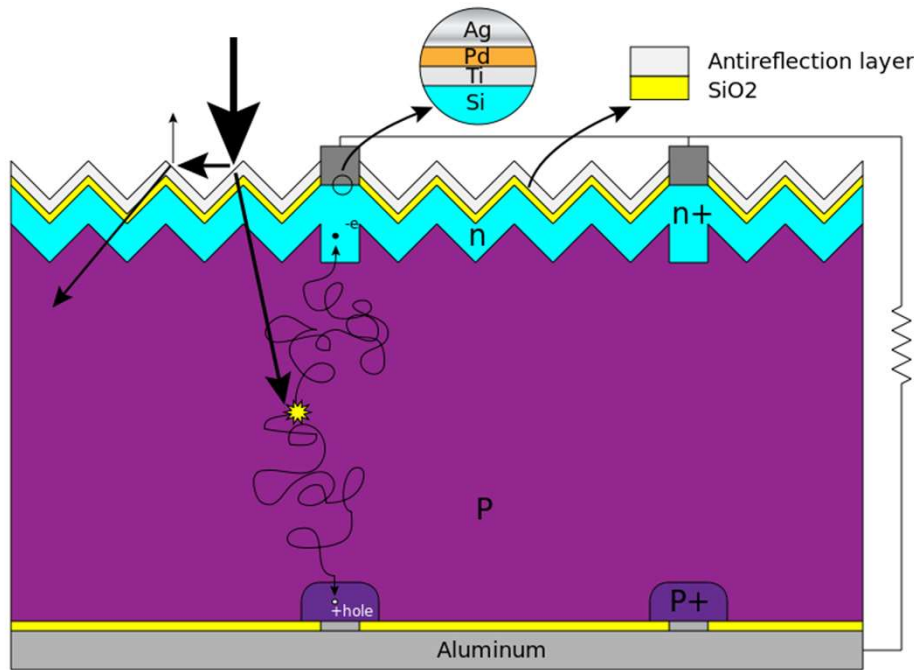


16% nos módulos de heterojunção;  
14% nos módulos do silício monocristalino;  
13% nos módulos do silício policristalino;  
10% nos módulos do silício microsferico;  
6% nos módulos do silício **amórfico**.

A efetividade dos painéis fotovoltaicos é limitada pelas leis da física:

1. A energia da fotão deve ser maior que a interrupção energética do semicondutor. Para o sílice a interrupção é de 1.1 eV\* o qual quer dizer que até os raios infravermelhos levam as suficientes quantidades de energia (os fotões da luz vermelha têm a energia de 1.8 eV).
2. Todavia, a tensão no painel fotovoltaico (Si) é não de 1.1 V, mas 0.6-0.7 V aproximadamente. A razão é a polarização da ligação *n-p*.
3. Se o fotão tem a energia maior que a interrupção energética, o excedente da energia é convertida no calor. Se é menor do que a interrupção - toda a energia é convertida no calor. Portanto, a efetividade interna do painel separado Si é no nível dos 10-15%.
4. A maior efetividade pode ser garantida pelos semicondutores mais caros, tais como GaAs que até certo grau lembra o Si: nos voos espaciais o custo aumentado dos painéis fotovoltaicos não é problema nenhum.

# Podemos construir painéis fotovoltaicos mais eficientes (PV)?



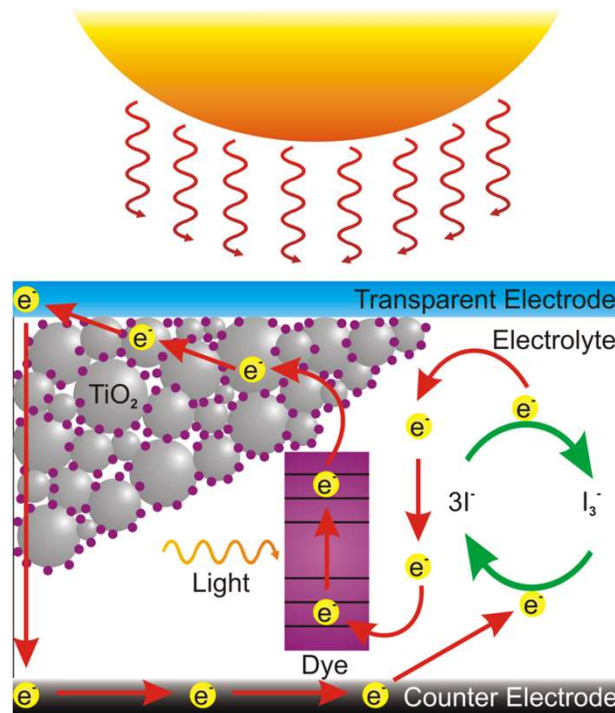
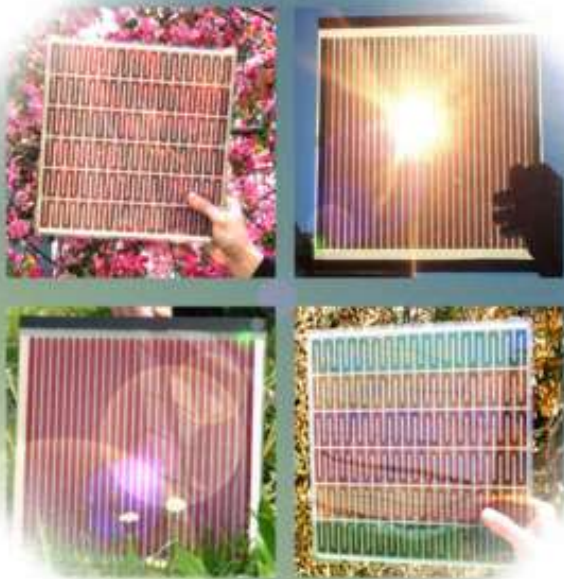
A pilha PV é complexa dos dois tipos dos semicondutores: Si do aditivo P (tipo *n* -elétrones são portadores da carga) e Si do aditivo B (tipo *p* – com elétrones "que falham", quer dizer, os "buracos" positivos como portadores da carga).

A atividade da ligação *n-p*: fotões (os que levam a energia maior do que a interrupção  $E_g$ ) criam os pares do elétrones e buracos. Os elétrones "patinam" pela onda (inclinada) da condução.  $E_c$  é a fronteira (inferior) da onda de condução,  $E_v$  é o bordo (superior) da onda de valência.  $E_F$  é a energia de Fermi que é gerada quando os dois semicondutores são ligados entre sim.  **$V_B$  é tensão útil: 0.4 V para Si**

As aplicações práticas dos painéis PV requerem a camada de muitos níveis (Fonte: Wikipedia)



# As pilhas fotovoltaicas baratas e elásticas utilizam o solo pintado com a cor branca



O conceito importante nas pilhas PV é "recolher" o espectro solar. A energia dos fótons deve corresponder exatamente à distância do espectro: os fótons da energia menor não são eficazes mas os fótons da energia maior - ocasionam o excesso nocivo da energia.

Michael Grätzel superou essa dificuldade quando baseou a pilha no solo branco (estrutura nano de  $\text{TiO}_2$ , semiconductor com uma bastante alta interrupção da onda). Recolher o espectro solar acontece por meio do pigmento artificial e castanho.

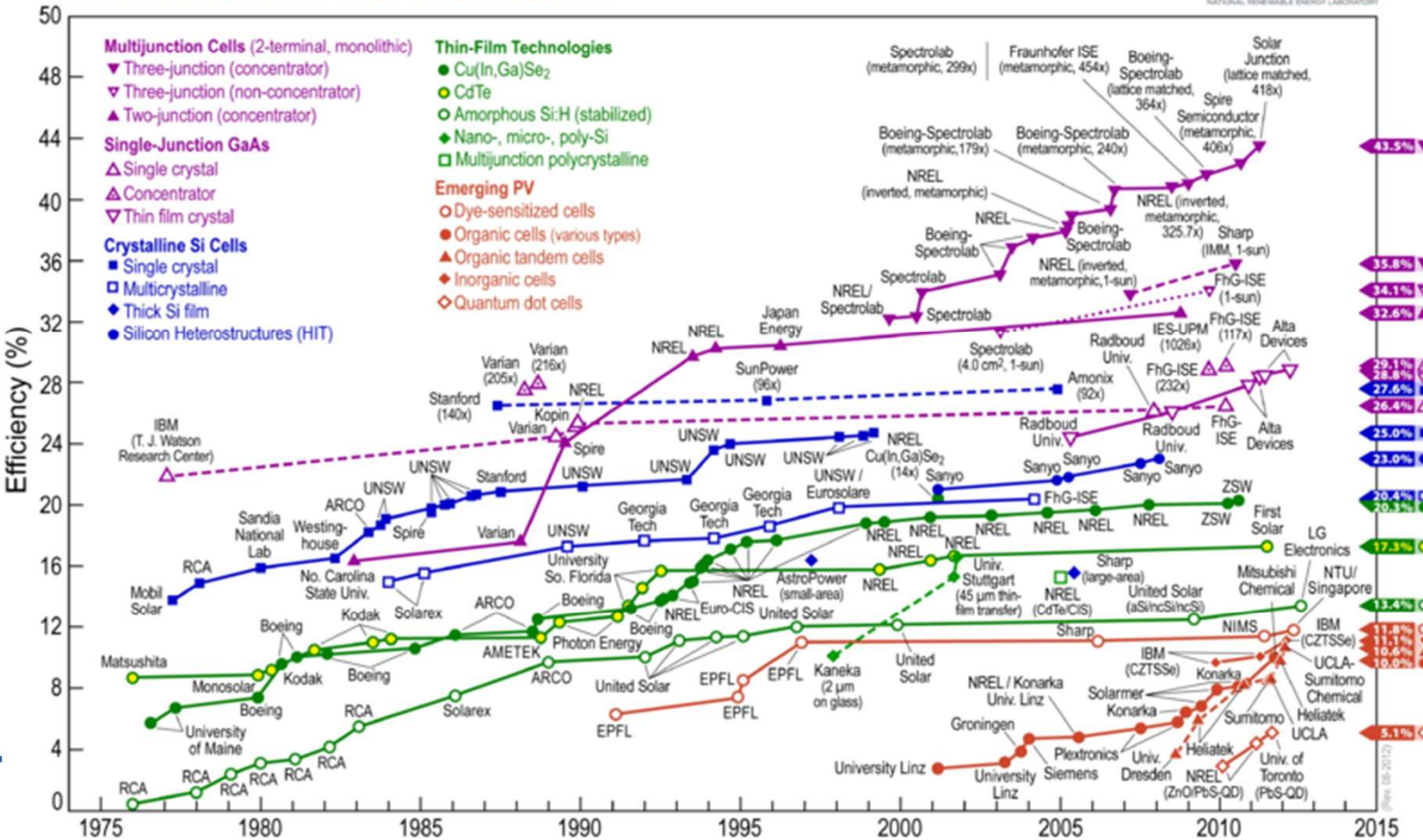
A pilha de Grätzel pode ser produzida como lâmina elástica e é barata.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Dye-sensitized\\_solar\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Dye-sensitized_solar_cell)

# Os mais prometedores parecem os painéis fotovoltaicos



Best Research-Cell Efficiencies



Os maiores rendimentos podem ser conseguidos graças ao truque que consta em "recolher" progressivamente as partes separadas do espectro solar (ver a lição 2):

primeiro os fótons da maior energia (luz azul); os fótons da energia inferior não são absorvidos, etc.

Nas pilhas de três graus PV o rendimento conseguido é de 40%.

**O assunto essencial é, como sempre, o custo.**

# A queima da biomassa é "ecológica"?



Estabelecimento de co-geração em Metz, em França.

A estação utiliza a biomassa da madeira residual como fonte de energia e fornece a energia elétrica e o calor para os 30.000 alojamentos.

A fonte tradicional de calor antes da era industrial era a madeira. Hoje é muito popular o "granulado de madeira". É ecológico? Leia o que diz a wikipedia:

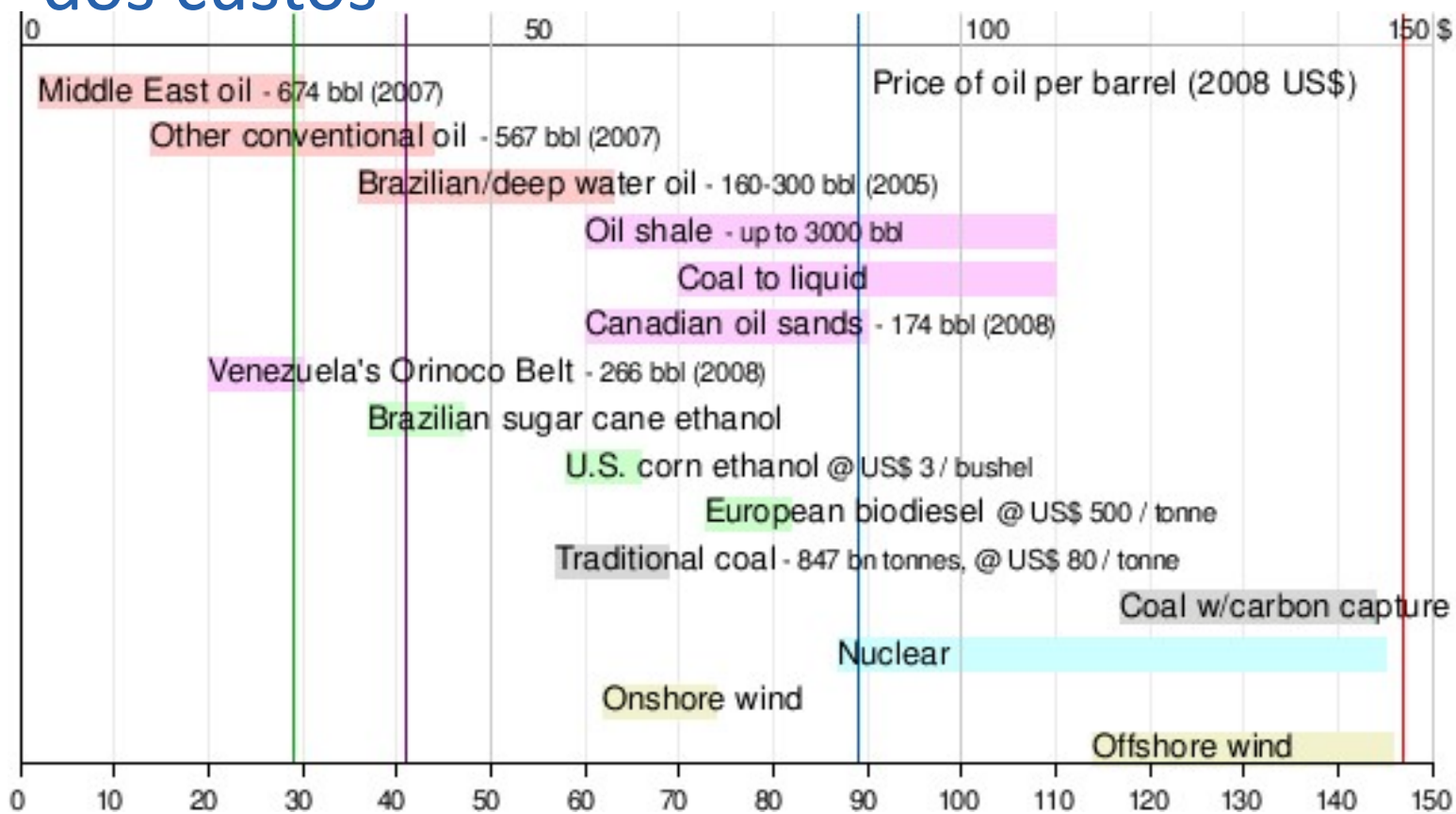
"A queima da biomassa emite o carbono, uma quarta parte mais do que a queima do carbono (por uma unidade de energia), mas foi classificada como fonte de energia "renovável" dentro dos marcos legais da UE e da ONU, porque as plantas podem ser renovadas.

A utilização da biomassa como combustível faz que a contaminação do ar em forma do óxido de carbono, dióxido de carbono,  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $NO_2$  (óxidos de nitrogénio), os compostos voláteis orgânicos, partículas sólidas e outras contaminações nas concentrações superiores das que procedem das fontes de combustível tradicionais, tais como o carbono ou o gás natural.

Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Biomass>



# A escolha das fontes de energia depende dos custos



Como resulta dessa investigação ampla realizada por Departamento de Energia dos EUA, o âmbito dos custos é amplo: o mais caro é o vento marítimo.

O carbono é barato a menos que se utilize a interceção do CO<sub>2</sub>.

A gasolina ainda é a mais barata.

O custo do sistema fotovoltaico depende fortemente do petróleo: a produção do silício absorve enormes quantidades de energia.

**Sobre a política energética devem decidir os expertos.**

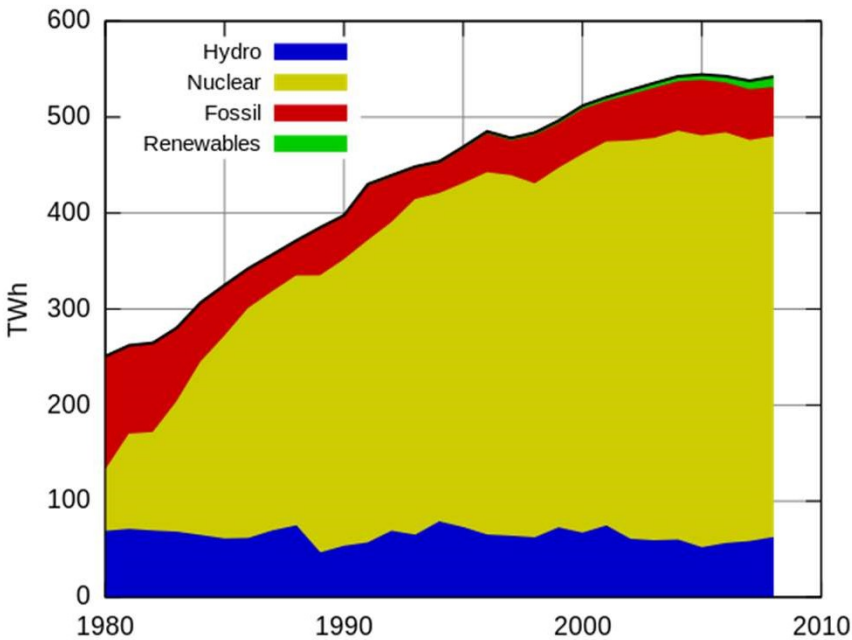
Departamento de Energia dos EUA

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.



# Que é o que passa com as centrais elétricas nucleares?

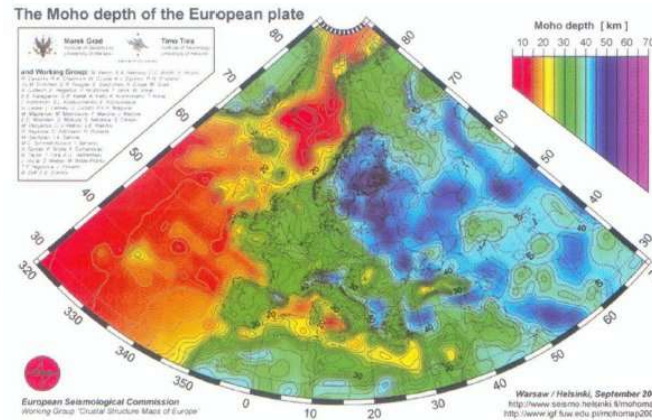
Electricity Production in France



A centra nuclear custa muito dinheiro: um bloque de 500 MW custa 4-5 mil milhões USD. A Coreia está a construir 4 bloques nos Emirados Árabes.

O custo da energia elétrica em França é por debaixo da média UE-28. Isto deve-se parcialmente à grande participação das centrais elétricas nucleares (com base de urânio).

A central elétrica nuclear (1 GW) utiliza 1 kg de urânio por dia aproximadamente, em comparação das 10 000 toneladas na central elétrica tradicional.



Rys. 4. Głębokość, na jakiej znajduje się nieciągłość Moho dla płyty europejskiej. Na najmniejszej głębokości znajduje się ona w obrębie oceanów (kolor czerwony, pomarańczowy), najgłębiej zaś położona jest w rejonie Finlandii i Estonii. Skorupa ma większą grubość również z rejonie zderzeń płyt – pod Alpami, Pirenejami i górami Kaukazu.

O seguinte problema são sedimentos do combustível utilizado (quer dizer, "cinzas" altamente radiativas).

Em Europa Oriental as rochas estáveis de magma têm até os 70 km de espessura.

# O tório é uma das alternativas para o urânio

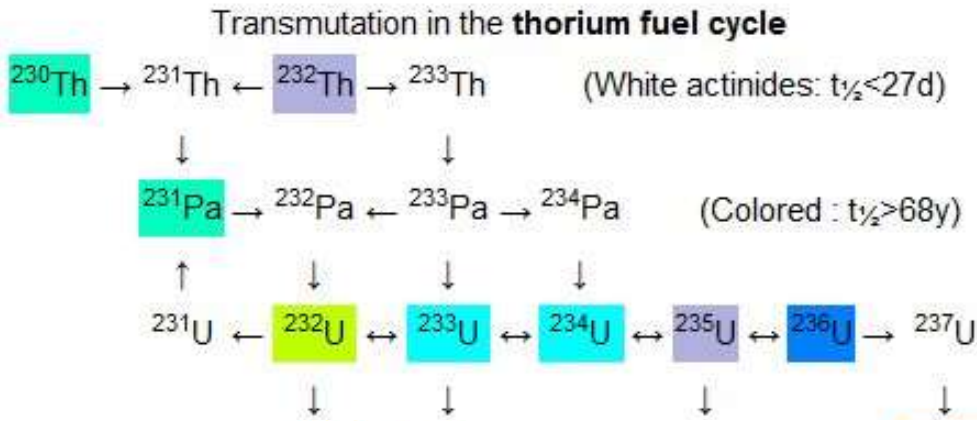


Table 9. Total Direct investment costs.

Item	Best Estimate Million US\$	Lower limit Million US\$	Upper limit Million US\$
EGU	58.98	45.61	67.51
Secondary Loop	59.55	45.69	72.21
Auxiliary Systems	7.69	6.15	9.23
Accelerator System	184.45	165.45	217.10
Mech. & Electrical Classical Eq.	233.50	210.15	256.85
General Assembly	37.88	30.30	45.45
Instrumentation & Control	35.00	28.00	42.00
Structures & Civil Work	175.00	140.00	210.00
Total	792.05	671.35	920.35

O facto geralmente omitido sobre as centrais elétricas com base em urânio é que os minérios de urânio esgotam. Uma parte do combustível foi produzido como "diluído" urânio das bombas nucleares. Ainda, com o baixo conteúdo do urânio os minérios podem chegar a ser o "carbono amarelo".

Existe outro elemento químico que é vizinho do urânio na tabela de classificação periódica de Mendeleiev: tório. É quase não radiativo e prolifera, digamos, nas areias de Báltico.

O reator com base na tório foi proposto pelo vencedor italiano do prémio Nóbel (pelos descobrimentos relativos às partículas elementais) Carlo Rubbia. A vantagem desse reator é que é por si só estável: o tório precisa da fonte externa de neutrões.

**O problema é que nenhum país quer construir esse reator.**

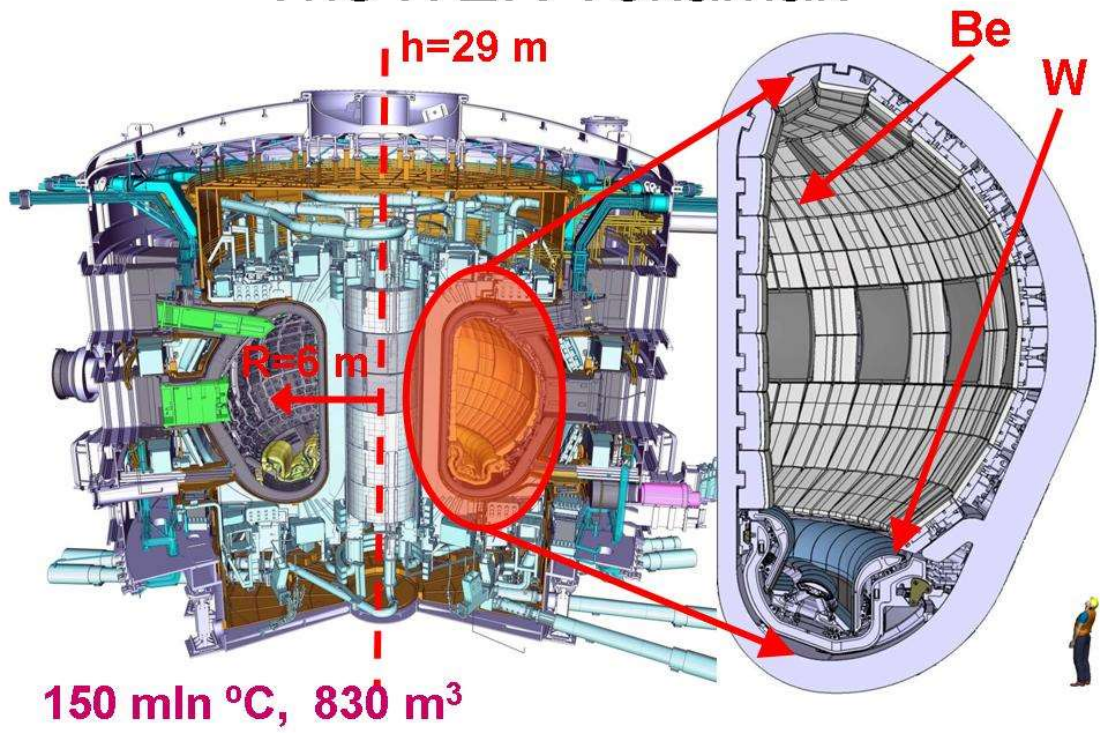
GK é experto da UE quem avalia os projetos de investigação

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.



# Quando podemos esperar uma central elétrica termonuclear?

## The ITER Tokamak



© D.J. Campbell, ITER, with permission

- Podemos controlar uma reação termonuclear (quer dizer a síntese dos núcleos He com H, como no Sol)?

Os investigadores aprenderam controlar há 50 anos por meio dos grandes imanes nas máquinas chamadas Tokamak.

- Mas a reação não gera a energia?

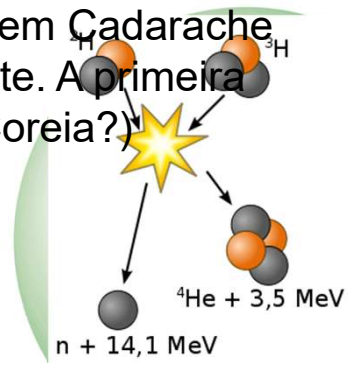
Já há 20 anos que obtemos a energia neta da reação:  $^3\text{H} + ^2\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + n$ , por exemplo em JET, em Inglaterra.

- Por que não utilizamos essa energia?

Porque temos de adicionar os custos de manutenção da corrente no íman, resfriamento, etc.



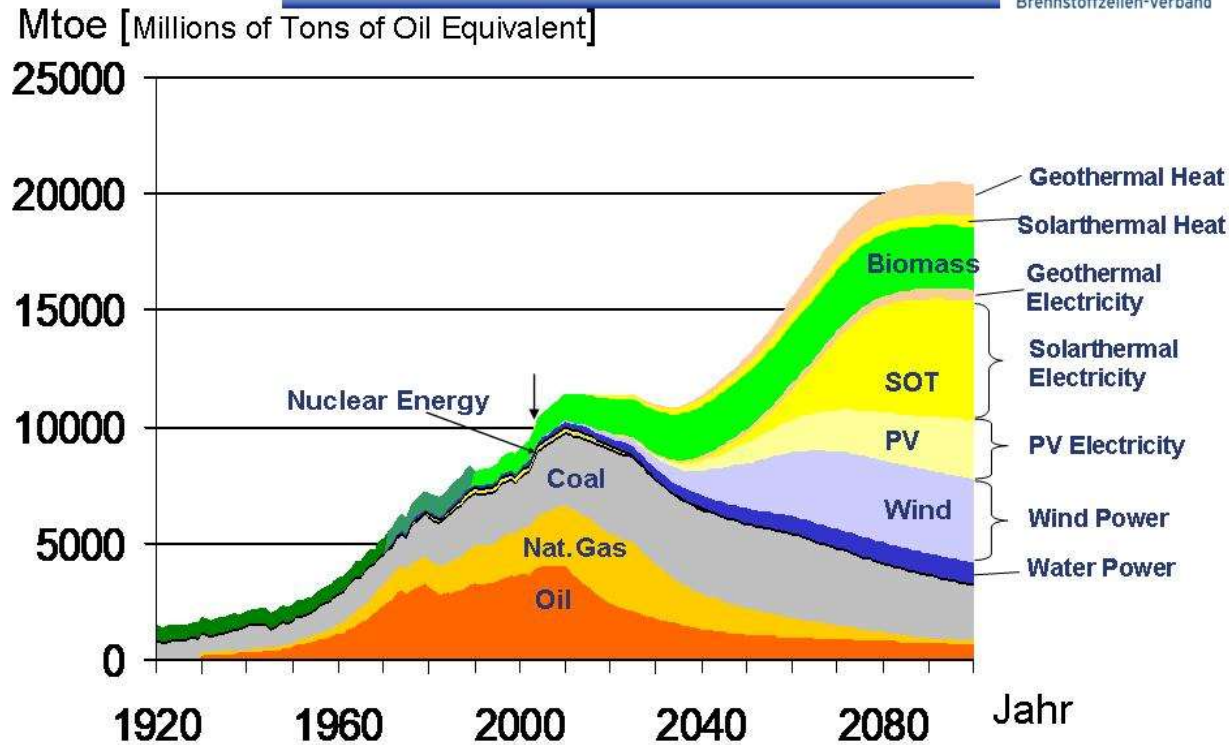
A primeira máquina que gera a energia neta com a potência dos 500 MW deve estar pronta em Cadarache em França no ano 2025 aproximadamente. A primeira aplicação industrial - no ano 2050 (Na Coreia?)



GK é experto da Agência Internacional de Energia Atômica no setor dos processos atômicos do ITER

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 826246. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

# O futuro pode ser diferente



Os pronósticos relativos às tecnologias futuras são muito arriscados. Normalmente fazemos a extrapolação do que *já* sabemos. No ano 2100 a procura de energia não será superior do que é atualmente. Se utilizarão as "fontes" conhecidas como água, vento e fotovoltaicas.

A radiação solar pode ser concentrada pela grande espelho que aquece a água para a turbina (energia térmica solar). Provavelmente há também outras soluções.

O problema é armazenar a energia: o **hidrogénio** é uma das possibilidades.

Sem dúvida os novos especialistas serão necessários.

Agradecimentos para: Dr Johannes Töpler, Deutscher Wasserstoff-und Brennstoffzellenverband

This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

# O problema verdadeiro não será a produção mas a armazenagem



Dresden Seminar  
22.Aug. 2017

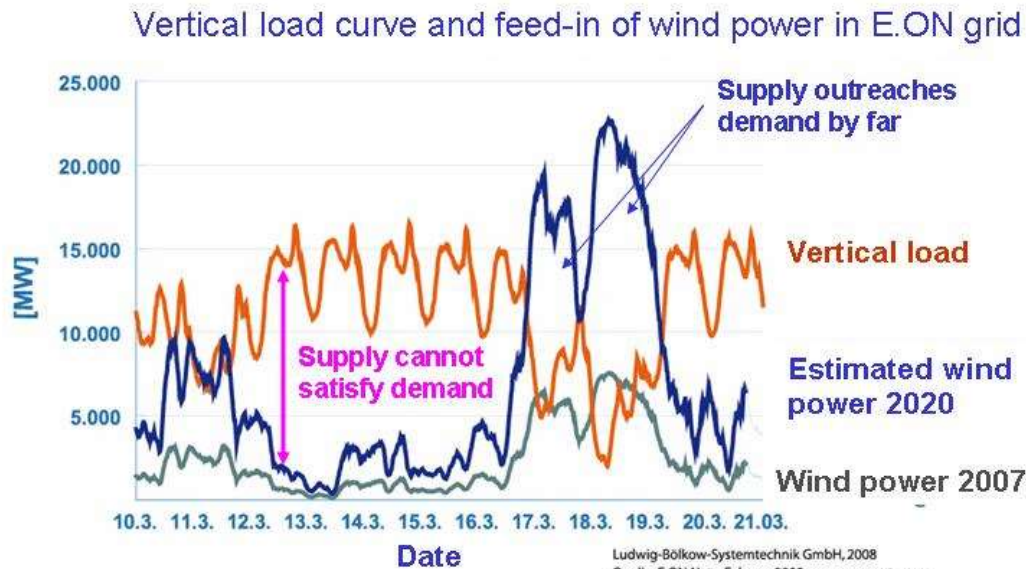
## Fluctuating renewable electricity



Quase todas as "fontes" energéticas na foto anterior dependem do vento e do sol, quer do tempo: geram a energia quando *podem* e não quando é *necessária*.

Como podemos ver na ilustração ao lado, já no ano próximo em Alemanha vai aparecer o problema da falha da energia se não faz vento nem sol.

A produção do **hidrogénio** nas pilhas de combustível e a sua armazenagem nos tanques enormes é uma das soluções possíveis para complementar as falhas energéticas.



Agradecimento para: Dr Johannes Töpler, Deutscher Wasserstoff-und Brennstoffzellenverband



This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.  
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

# Experimentos com a fotovoltaica



- Uma grande parte de brinquedos é alimentadas das fontes fotovoltaicas (carros, animais, calculadoras). Por favor, encontrar o máximo número possível e trazer para a escola.
- O professor prepara as diferentes fontes de luz: lâmpadas LED, de baixo consumo, clássicas. Vale a pena preparar umas, ainda do mesmo tipo. Salvar a potência nominal descarregada por cada uma delas.
- Os alunos formam grupos de 3-4 pessoas e movem-se com os seus brinquedos de uma fonte para a outra: verificam qual é a distância máxima da fonte da luz com a qual os brinquedos ainda funcionam. Tomam notas.
- Deixar 15 minutos para falar sobre os resultados. As conclusões não são fáceis: cada pilha fotovoltaica pode ter rendimento e sensibilidade espectral diferentes e podem reagir de forma diferente às diferentes fontes da luz.



This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246.  
The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

# Debate de alunos

O professor divide o curso em grupos, cada grupo prepara para a lição seguinte argumentos a favor da "fonte" de energia escolhido:

fotovoltaica, eólica, hidráulica, nuclear (?), termonuclear, biomassa.

- Cada grupo prepara o análise das vantagens e custos (investimentos, operação corrente, desmontagem, custos sociais, perigos para a saúde).
- Deve defender a sua "fonte" de energia o máximo que seja possível: não apresentem as situações que afetaram negativamente aos outros grupos a menos que perguntem: é debate político.





Finalizamos com a capa da revista "Focus":

**Chega a era de hidrogénio**

O novo combustível vai fazer o mundo mais justo, pacífico e limpo



This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.