



FCHg!

Discover
the energy
of hydrogen

Grzegorz Karwasz
Anna Kamińska
Universidad Nicolás Copérnico

Material didáctico: Escuela secundaria

"Fuentes de energía alternativas" no es el mejor título



Central nuclear, probablemente en algún lugar de Alemania.

En primer lugar, no estamos hablando de "producir" energía, sino de *transformarla*. Los físicos creen que la cantidad total de energía del universo se conserva.

La masa total según la ecuación $E=mc^2$ también entra en este presupuesto. Convertir parte de la masa en energía es la clave para la „producción” de energía en el núcleo del Sol, en las centrales nucleares y en la central de fusión ITER proyectada en Cadarache, Francia

Las fuentes de energía "alternativas" tampoco son la mejor expresión. A veces decimos fuentes "renovables", con la energía eólica, el agua, la energía fotovoltaica y, a veces, también con el uso de biomasa.

Cada "fuente" tiene sus condiciones específicas.



This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No. 101017723. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme.

A lo largo de la historia, la humanidad ha aprendido a cambiar entre diferentes "fuentes" de energía

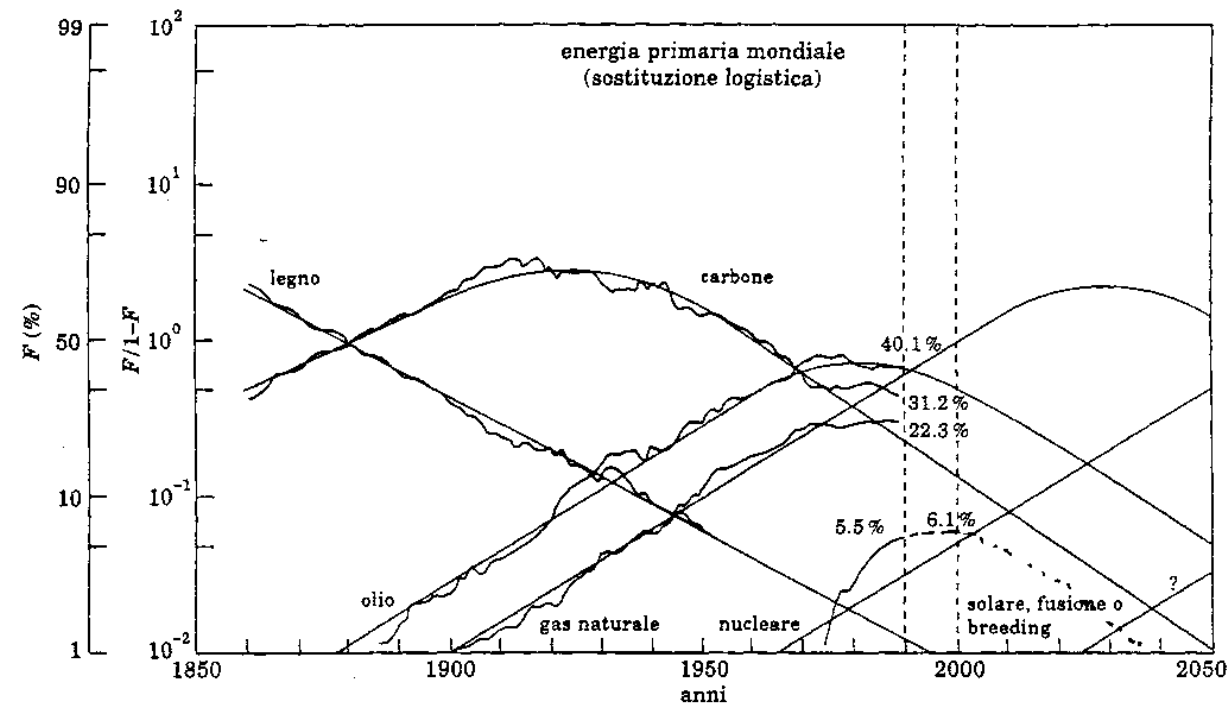


Fig. 3. - Analisi storica (IIASA, C. Marchetti) della evoluzione delle energie primarie a livello mondiale. Le curve di modello seguono i criteri logistici delle sostituzioni di mercato e si proiettano sugli anni futuri dando le previsioni fino al 2050.

Esta es una ilustración antigua, de los años 90, que muestra los cambios anticipadamente en las "fuentes" de energía. Ahora estamos al borde de estas predicciones, por lo que podemos compararlas con la situación real.

Una observación valiosa que podemos hacer aquí es el hecho de que los diferentes *portadores* de energía alcanzan su máximo uso (carbón a principios del siglo XX) después de lo cual la curva desciende.

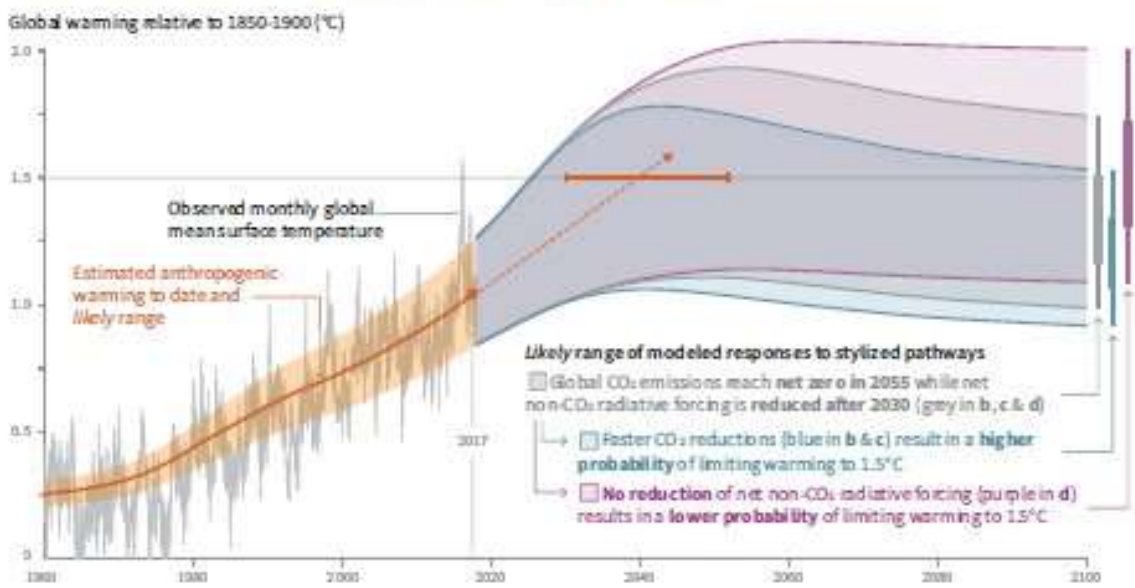
También observamos que las predicciones no incluyen nuevos inventos como el gas de esquisto.

- El signo de interrogación dice: solar (listo), termonuclear (aún no está lista), etc.

Los escenarios más optimistas predicen que detendremos el aumento de las emisiones de CO₂

Cumulative emissions of CO₂ and future non-CO₂ 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



Está claro que para detener/ ralentizar el proceso de calentamiento global, debemos detener las emisiones de CO₂. Los científicos señalan que la vida útil del CO₂ emitido es de 150 años.

Teniendo en cuenta que en el pasado (lejano) de la Tierra, las temperaturas fueron ligeramente (1-3°C) más altas, el panel del IPCC en un informe reciente (diciembre de 2018) propone un aumento de no más de 1,5° para 2040, como uno de sus objetivos.

Si no hacemos nada para reducir las emisiones de CO₂, la temperatura aumentará 2°C.

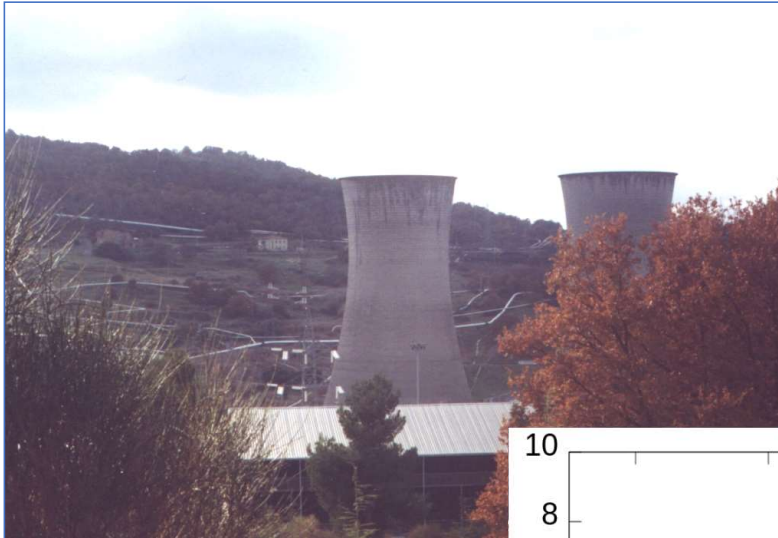
No más: ya no queda tanto carbón para quemar.



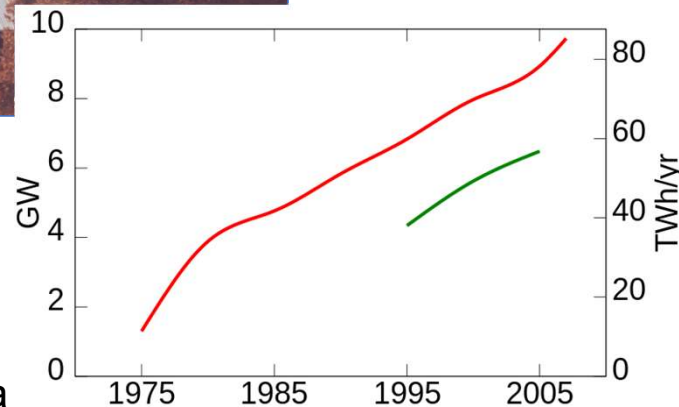
IPCC panel, December 2018

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

Se necesitan fuentes de energía alternativas, es decir, que no emitan CO₂: eólica, geotérmica, etc.



Central geotérmica,
Pozzuoli, Italia



Wikipedia

Las fuentes geotérmicas de agua caliente se conocen desde la antigüedad. Algunos países, como Islandia, basan toda su economía en esas fuentes.

Si comparamos el flujo de energía solar (1367 W/m²), con la energía geotérmica (del orden de 65 mW/m²), observamos una gran diferencia.

La mitad de esta energía es el calor del interior de la Tierra que aún se está enfriando, la mitad es la energía de la desintegración radiactiva (²³⁸U, ⁴⁰K, ²³²Th).

La capacidad total de este tipo es baja: una potencial global de 10 GW, ya sería proporcionado por 20 centrales nucleares.

Se necesitan fuentes de energía alternativas, es decir, que no emitan CO₂: eólica, geotérmica, etc.

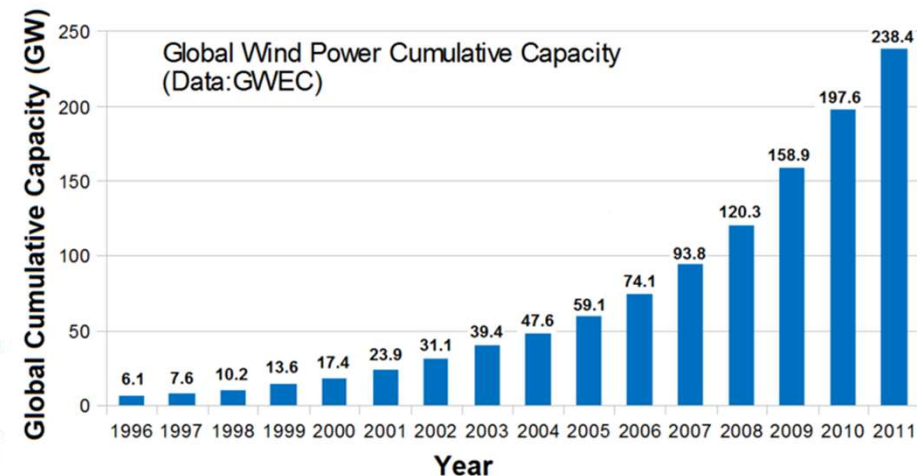


En Dinamarca (2018), más del 40% de la electricidad generada en el país, es generada por el viento. Dinamarca es un país especialmente ventoso.

Otros países también están invirtiendo en parques eólicos. Incluso la "soleada" Italia obtiene el 3% de su energía del viento.

El crecimiento, a escala global, es exponencial (ver más abajo).

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



IPCC panel, diciembre 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, Pol

Los paneles fotovoltaicos parecen ser los más prometedores

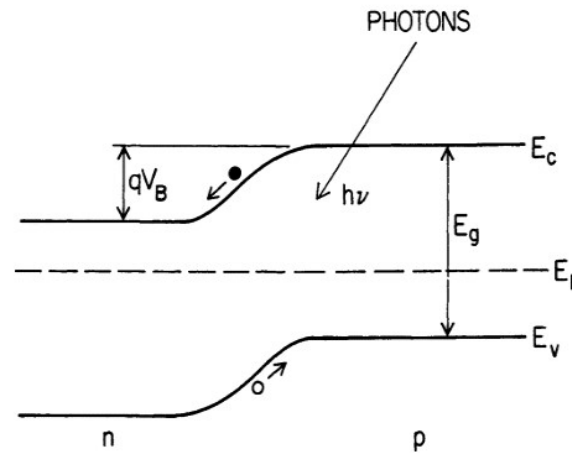
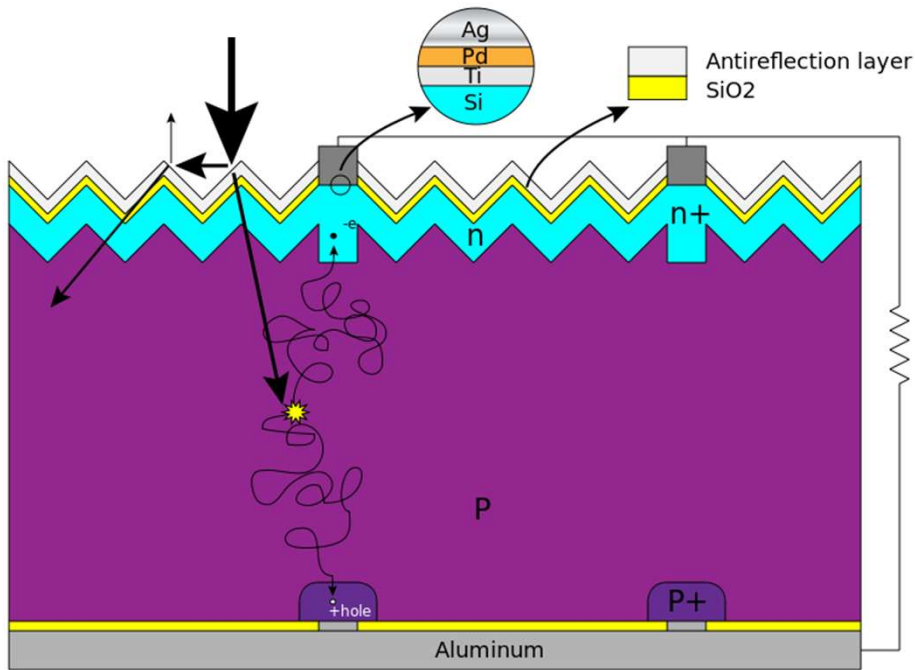


16% en módulos de heterounión;
14% en módulos de silicio monocristalino;
13% en módulos de silicio policristalino;
10% en módulos de silicio microesférico;
6% en módulos de silicio **amorfo**.

La efectividad de los paneles fotovoltaicos está limitada por las leyes de la física:

1. La energía del fotón debe ser mayor que la brecha de energía del semiconductor. Para el silicio, esta brecha es de 1,1 eV*, lo que significa que incluso los rayos IR transportan suficiente energía (los fotones de luz roja tienen una energía de 1,8 eV).
2. Sin embargo, el voltaje en el panel fotovoltaico (Si) no es de 1,1 V sino de aproximadamente 0,6-0,7 V. La razón es la polaridad del conector *n-p*.
3. Si el fotón tiene una energía mayor que la brecha, el exceso de energía se convierte en calor. Si es menor que el descanso, toda la energía se convierte en calor. Por lo tanto, la eficiencia interna de un solo panel de Si está en el rango de 10-15%.
4. Los semiconductores más caros como los GaAs, que hasta cierto punto se parecen al Si, pueden proporcionar una mayor eficiencia: en los vuelos espaciales, el aumento del coste de los paneles fotovoltaicos no es un problema significativo.

¿Podemos construir paneles fotovoltaicos (PV) más eficientes?



Una célula PV consta de dos tipos de semiconductores: Si dopado con P (tipo *n* - electrones son portadores de carga) y Si dopado con B (tipo *p*, con electrones "faltantes", es decir, "huecos" positivos como portadores de carga).

Funcionamiento del conector *n-p*: los fotones (aquellos que transportan energía mayor que la brecha E_g) forman pares de electrones y huecos. Los electrones se "deslizan" a lo largo de la banda de conducción (inclinada).

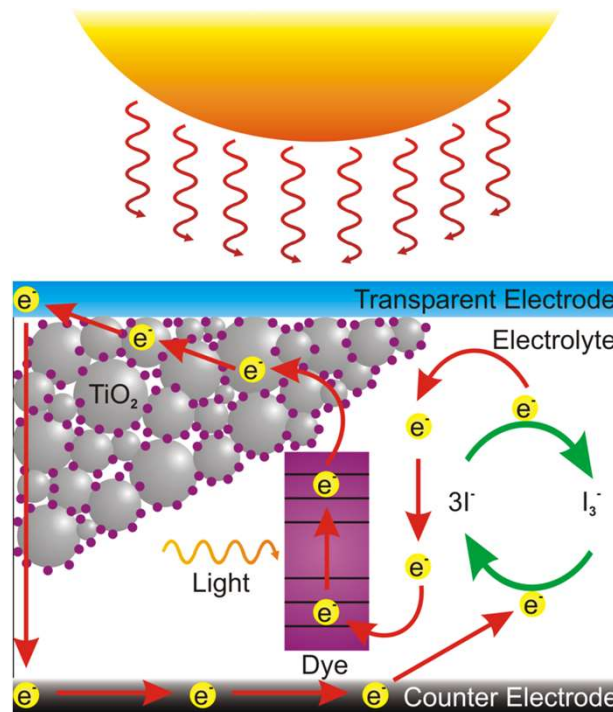
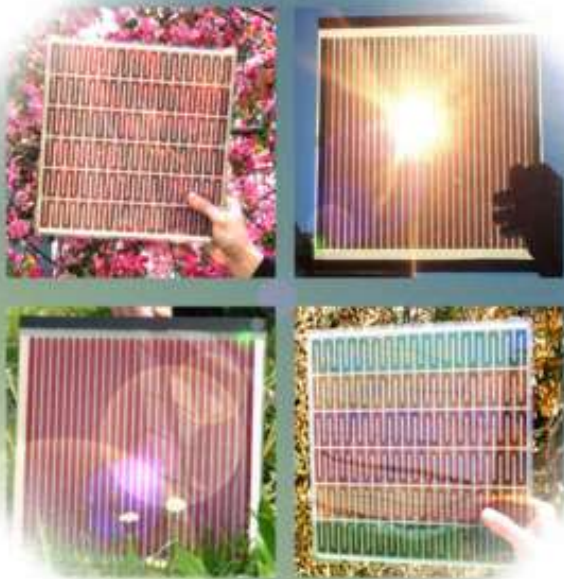
E_c es el límite (inferior) de la banda de conductividad, E_v es el borde (superior) de la banda de valencia. E_F , es el llamado nivel de Fermi que se forma cuando dos semiconductores están conectados entre sí. V_B es el voltaje útil: **0.4 V para Si**

Las aplicaciones prácticas de los paneles fotovoltaicos requieren capa multinivel (Fuente: Wikipedia)

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pn-junction>



Las células fotovoltaicas baratas y flexibles utilizan un sustrato pintado de blanco



Un tema importante en las células fotovoltaicas es la "recolección" del espectro solar. La energía de los fotones debe corresponder exactamente al espaciado de bandas: los fotones de menor energía son inútiles y los más altos - provocan un exceso de energía dañino.

Michael Grätzel superó esta dificultad basando la célula en un sustrato blanco (TiO_2 nanoestructurado, un semiconductor con una rotura de banda bastante alta). El espectro solar se recolecta con la ayuda de un pigmento marrón artificial.

La célula de Grätzel se puede producir como películas flexibles y es barata.

https://en.wikipedia.org/wiki/Dye-sensitized_solar_cell

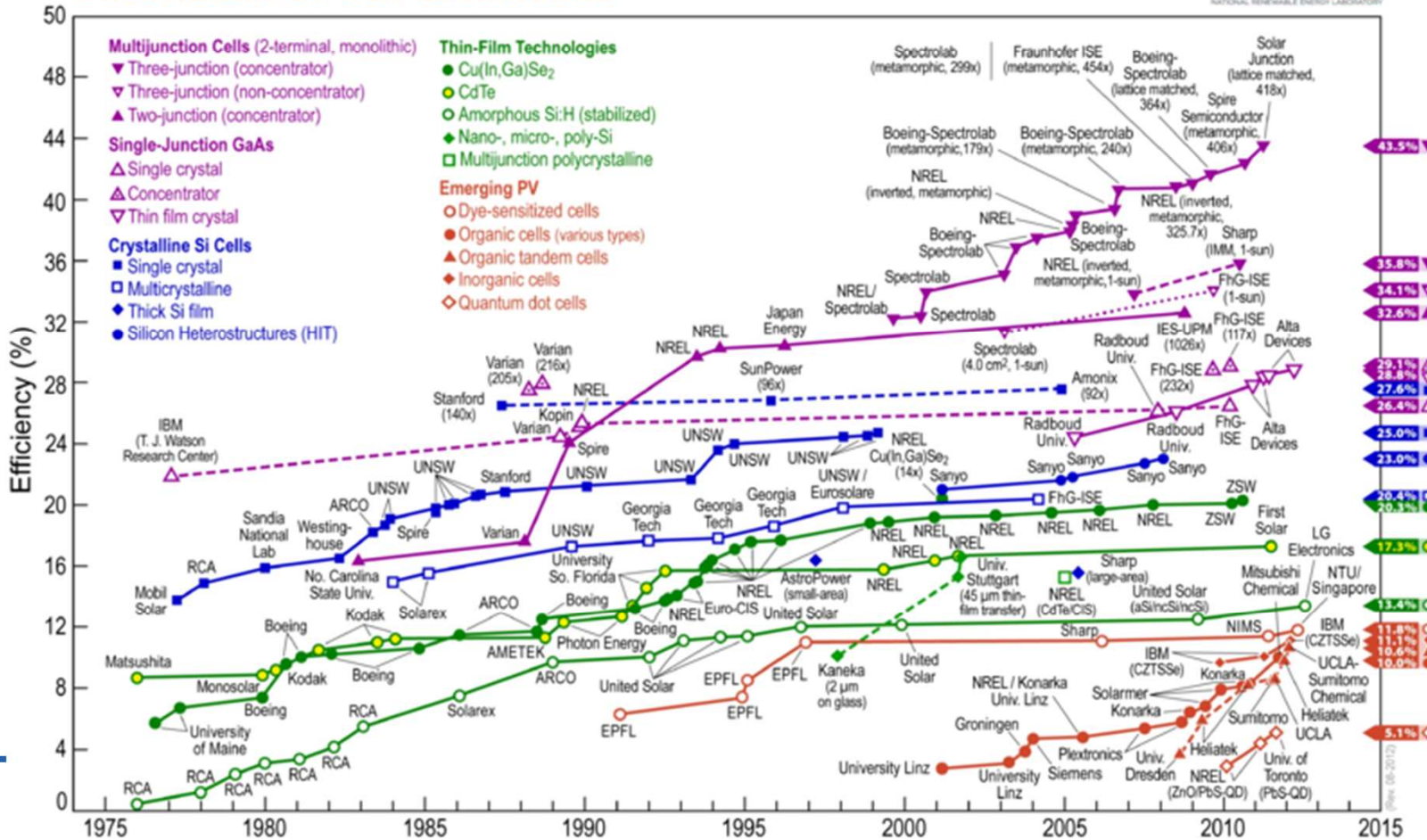


This project has received funding from the Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) under grant agreement No 826246. The JU receives support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and Italy, Denmark, Poland, Germany, Switzerland.

Los paneles fotovoltaicos parecen ser los más prometedores



Best Research-Cell Efficiencies



Se pueden obtener mayores rendimientos mediante el truco de "recolectar" sucesivamente partes separadas del espectro solar (ver lección 2):

primero los fotones de mayor energía (luz azul); los fotones de menor energía no se absorben, etc.

Se logró una eficiencia de hasta el 40% en células fotovoltaicas de tres etapas.

Como siempre, el problema principal es el coste.

¿Es "ecológica" la combustión de biomasa?



Planta de cogeneración en Metz, Francia.
La estación utiliza biomasa de madera residual como fuente de energía y proporciona electricidad y calor a 30.000 hogares.

La fuente tradicional de calor antes de la era industrial era la madera. Hoy en día, los "pellets de madera" se han vuelto bastante populares. ¿Es ecológico? Lea lo que dice wikipedia:

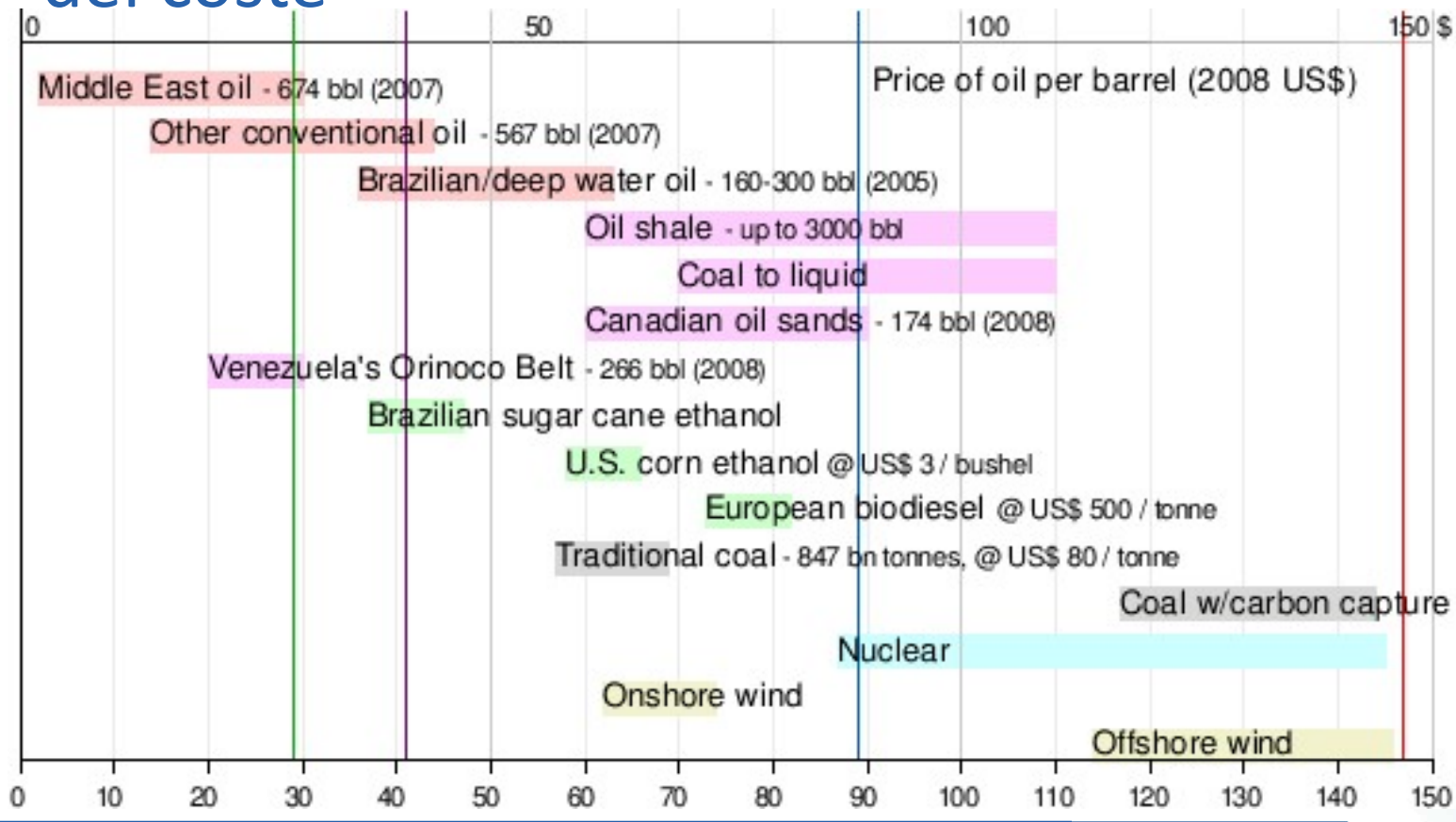
“La combustión de biomasa libera emisiones de carbono, aproximadamente una cuarta parte más que la quema de carbón (por unidad de energía), pero ha sido clasificada como una fuente de energía 'renovable' según el marco legal de la UE y la ONU porque las plantas pueden regenerarse.

El uso de biomasa como combustible contamina el aire en forma de monóxido de carbono, dióxido de carbono, N₂O, NO, NO₂ (óxidos de nitrógeno), compuestos orgánicos volátiles, partículas sólidas y otros contaminantes en concentraciones superiores a las de fuentes tradicionales de combustibles como el carbón o el gas natural.

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



La elección de las fuentes de energía depende del coste



Como lo demuestra este extenso estudio del Dpto. de Energía de EE.UU. el rango de costes de la energía es amplio: el viento del mar es el más caro.

El carbono es barato, a menos que se aplique la captura de CO₂.

La gasolina sigue siendo la más barata.

El coste de la energía fotovoltaica depende en gran medida del petróleo: la producción de silicio consume grandes cantidades de energía.

Los expertos deberían decidir sobre la política energética.

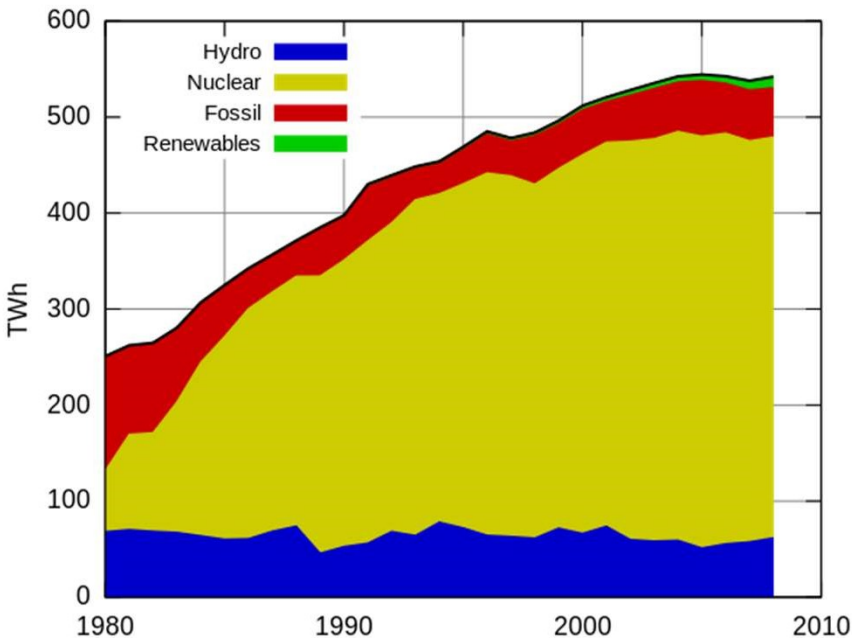
EEUU Departamento de Energía



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.

¿Qué pasa con las centrales nucleares?

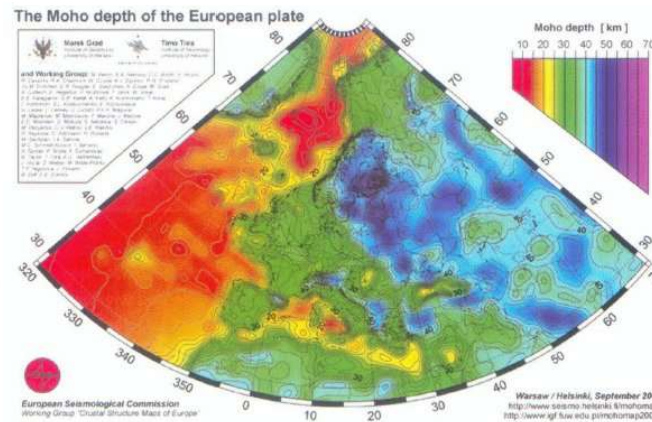
Electricity Production in France



La central nuclear es cara: pagaremos entre 4 y 5 billones de dólares por una unidad de 500 MW. Corea está construyendo 4 bloques en los Emiratos Árabes.

El coste de la electricidad en Francia está por debajo de la media de la EU-28. Esto se debe en parte a la elevada proporción de centrales nucleares (basadas en uranio).

Una central nuclear (1 GW) consume alrededor de 1 kg de uranio por día, en comparación con las 10,000 toneladas de carbón de una planta de energía convencional.



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.

Otro problema lo representan los depósitos de combustible utilizado (es decir, "cenizas" altamente radiactivas).

En Europa del Este, las rocas magmáticas estables tienen hasta 70 km de espesor.

El torio es una de las alternativas al uranio

Transmutation in the **thorium fuel cycle**

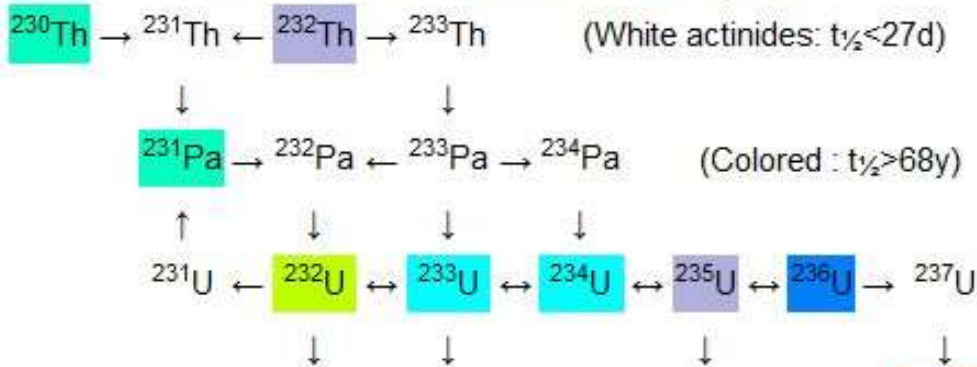


Table 9. Total Direct investment costs.

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

El hecho generalmente pasado por alto sobre las plantas de energía de uranio es que sus minerales se están agotando. Parte del combustible se producía a bajo precio como uranio "diluido" a partir de bombas nucleares. Sin embargo, con un bajo contenido de uranio, los minerales pueden convertirse en "carbón amarillo".

Hay otro elemento químico adyacente al uranio en la tabla periódica de Mendeleiev: el torio. Casi no es radiactivo y es abundante, por ejemplo, en las arenas del Báltico.

El reactor basado en el torio fue propuesto por el premio Nobel italiano Carlo Rubbia (por sus descubrimientos sobre las partículas elementales). La ventaja de un reactor de este tipo es que es intrínsecamente estable: el torio necesita una fuente de neutrones externa.

El problema es que ningún país quiere construirlo.

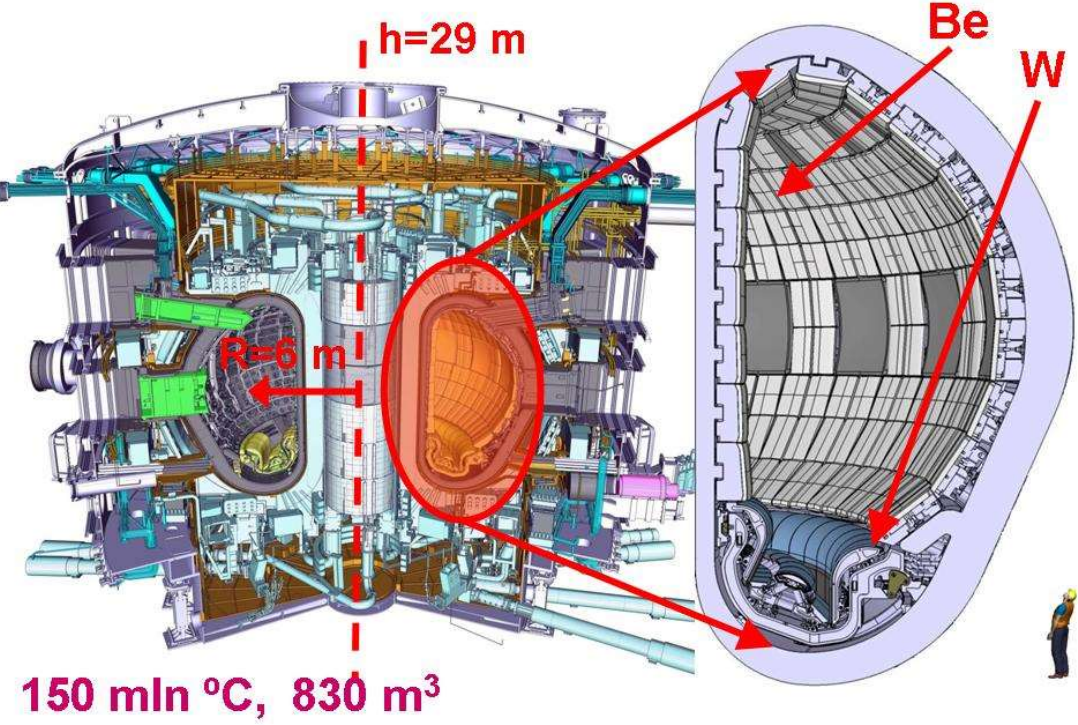


GK es un experto de la UE que evalúa proyectos de investigación

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.

¿Cuándo veremos una central de fusión?

The ITER Tokamak



© D.J. Campbell, ITER, with permission

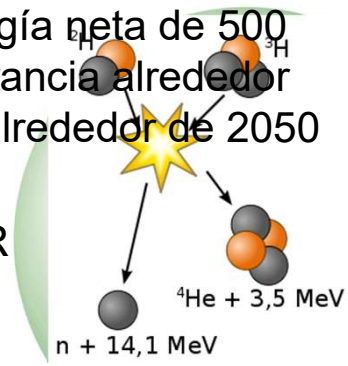
- ¿Podemos controlar la reacción de fusión (es decir, la fusión de los núcleos de He con H, como en el Sol)?

Los científicos aprendieron a controlarlo hace unos 50 años utilizando grandes imanes en máquinas llamadas tokamak.

- ¿Pero la reacción no produce energía?
- Llevamos 20 años obteniendo energía neta a partir de las siguientes reacciones: $^3\text{H} + ^2\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + n$, por ejemplo, en JET en Inglaterra.
- Entonces, ¿por qué no lo usamos?

Porque hay que sumar los costes de mantener la electricidad en imanes, refrigeración, etc.

La primera máquina generadora de energía neta de 500 MW debería estar lista en Cadarache, Francia alrededor de 2025. Primera aplicación industrial - alrededor de 2050 (¿en Corea?)



GK es un experto del OIEA en el campo de los procesos atómicos en el ITER



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.

El futuro puede ser diferente



Dresden Seminar
22. Aug. 2017

A possible Scenario of World Energy



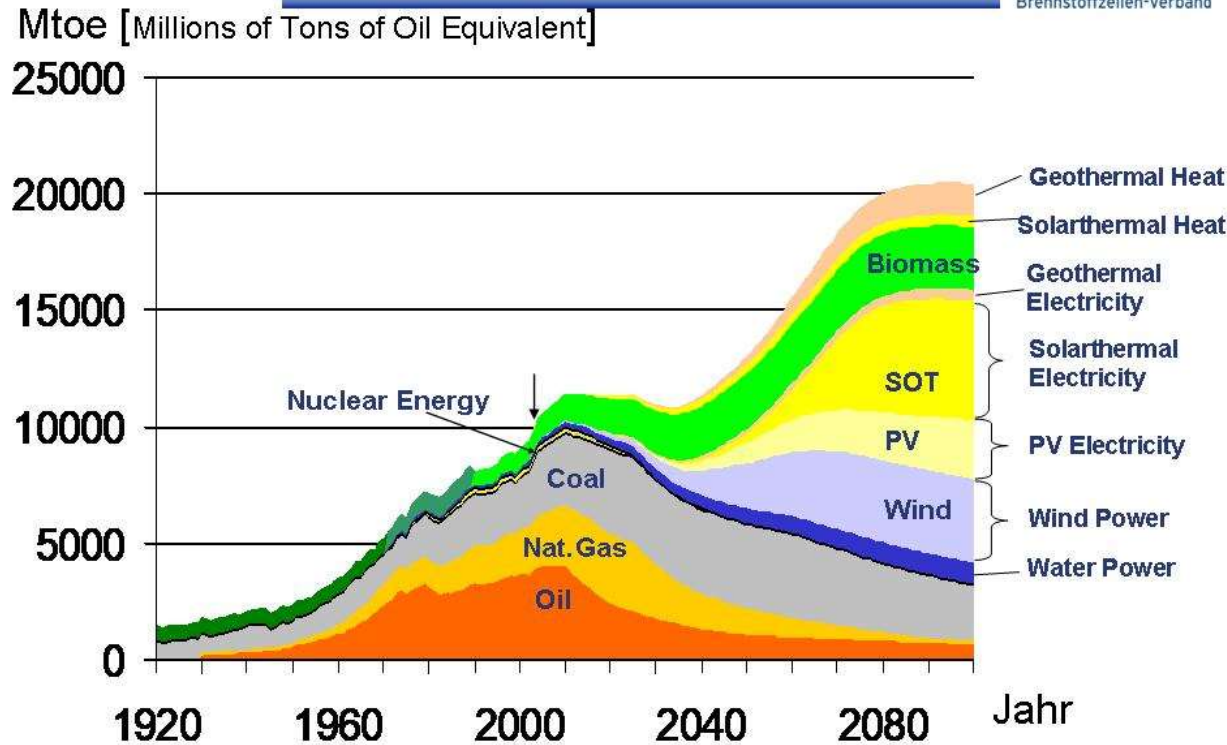
Las previsiones para las tecnologías futuras son muy arriesgadas. Normalmente extrapolamos lo *que ya sabemos*.

En el año 2100, la demanda de energía no será inferior a la actual. Se utilizarán 'fuentes' conocidas como el agua, la eólica y la fotovoltaica.

La radiación solar se puede concentrar a través de un enorme espejo, calentando el agua hacia la turbina (energía solar térmica). Probablemente también existen otras soluciones.

El almacenamiento de energía será un problema: el **hidrógeno** es una posibilidad.

Sin duda, se necesitarán nuevos especialistas.



Gracias a: 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.

El verdadero problema no será la producción, sino el almacenamiento



Dresden Seminar
22.Aug. 2017

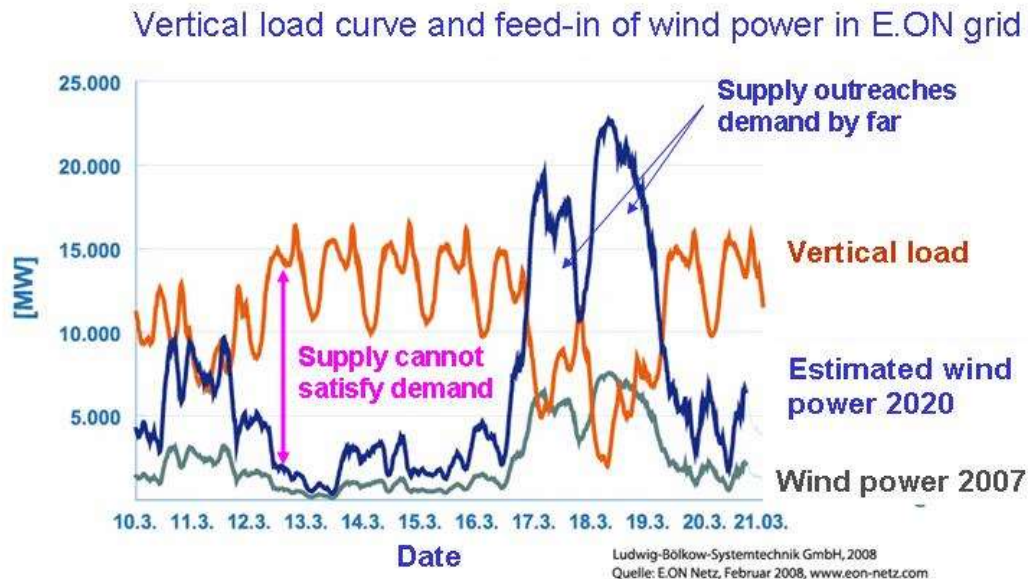
Fluctuating renewable electricity



Casi todas las "fuentes" de energía de la foto anterior dependen del viento y del sol, es decir, del clima: producen energía cuando *pueden*, no cuando se *necesitan*.

Como puede verse en la imagen de la izquierda, existirá un problema de falta de energía en Alemania el próximo año con la falta de viento y sol.

La producción de **hidrógeno** en células fotovoltaicas y su almacenamiento en grandes tanques es una de las posibles soluciones para llenar los vacíos energéticos.



Gracias a: 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 con energía fotovoltaica



- Un gran número de juguetes funcionan con fuentes fotovoltaicas (coches, animales, calculadoras). Por favor busque tantos como le sea posible y llévelos a la escuela.
- El profesor prepara diferentes fuentes de luz: bombillas LED, de bajo consumo, clásicas. Merece la pena preparar varias, incluso del mismo tipo. Anote la potencia nominal consumida por cada una de ellas.
- Los alumnos se dividen en grupos de 3-4 personas y se mueven con sus "juguetes" de una fuente de luz a otra: comprueban cuál es la distancia máxima a la fuente de luz en la que los juguetes siguen funcionando. Toman notas.
- Deje 15 minutos para discutir los resultados. Las conclusiones no serán fáciles: cada célula fotovoltaica puede tener un rendimiento y sensibilidad espectral diferente, reaccionando de forma diferente a diferentes fuentes de 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 estudiantil

El profesor divide la clase en grupos, cada uno de ellos preparará argumentos para la "fuente" de energía seleccionada para la siguiente lección:

fotovoltaica, eólica, agua, nuclear (?), termonuclear, biomasa.

- Cada uno de los grupos elabora un análisis de beneficio-costes (inversiones, funcionamiento diario, desmantelamiento, costes sociales, riesgos para la salud).
- Por favor defiendan su "fuente" de energía tanto como sea posible: no le presenten las desventajas a los otros grupos hasta que ellos pregunten: este es un debate político.





Finalizamos, con la portada de "Focus":

Se acerca la era del hidrógeno

El nuevo combustible hará que el mundo sea más justo, más pacífico y más limpio.



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.