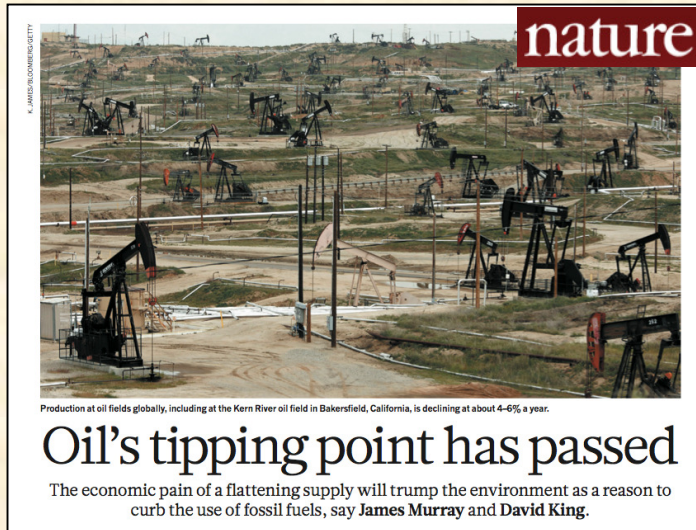


¿Es posible sustituir combustibles fósiles con energías alternativas sin cambiar el modelo económico dominante?



Luca Ferrari
Centro de Geociencias e Instituto de Geología, UNAM

Índice

1 – El cénit de la producción petrolera y su consecuencias

- Relevancia de los combustibles fósiles para la civilización moderna, la economía global y el ambiente
- Declive de la producción del petróleo convencional, costo económico y energético del petróleo no convencional

2 - La transición energética hacia las fuente renovables

- Problemas técnicos, económicos, ecológicos y filosóficos
- La necesidad de un cambio de paradigma económico

El debate sobre la transición energética

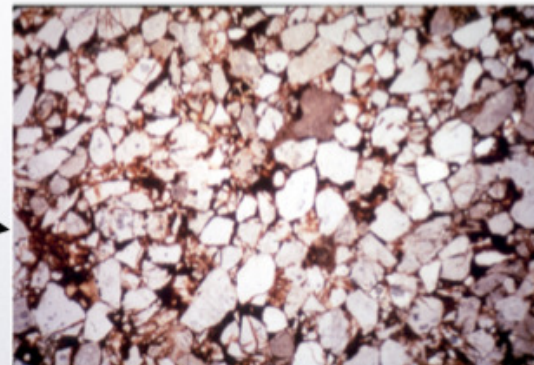
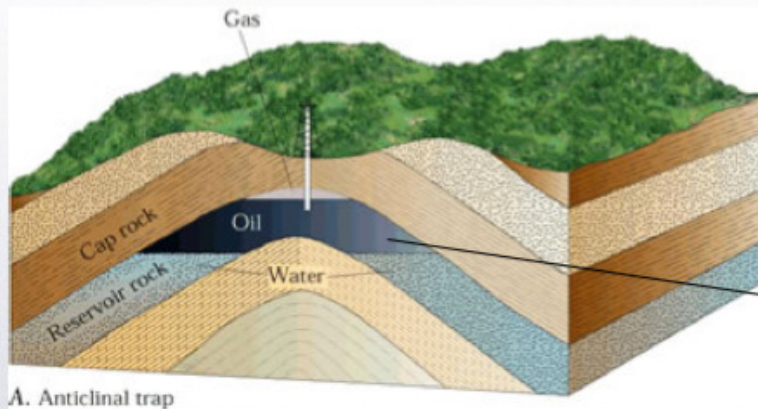
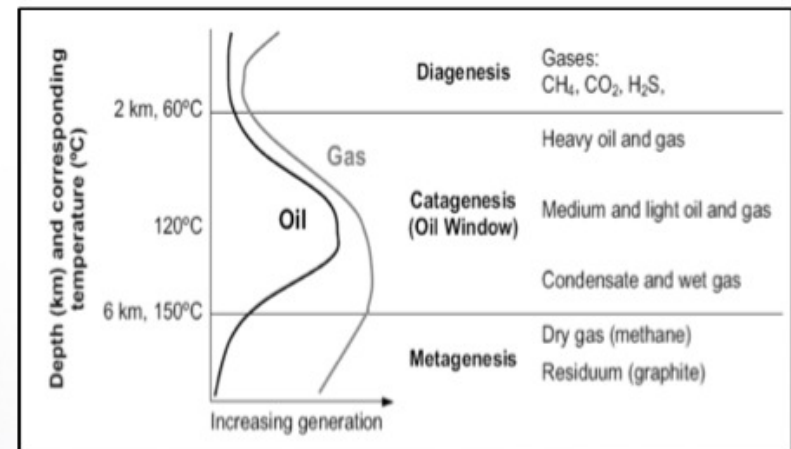
En extrema síntesis existen tres posiciones sobre el futuro energético:

- 1) *Business as usual / Techno optimistas*:** el declive del petróleo no está a la vista porque vamos sustituyendo el petróleo convencional con el petróleo no convencional y la tecnología nos va a permitir solucionar todos los problemas (economistas, grandes corporaciones, empresas petroleras)
- 2) *Ambientalista*:** Los hidrocarburos son dañinos para el ambiente (cambio climático etc.) y tarde o temprano se van a acabar: las fuentes renovables son la solución para un futuro sustentable y limpio y pueden proveer toda la energía necesaria para el planeta dentro de unas décadas (WWF, Greenpeace, industria solar, eólica etc.)
- 3) *Visión crítica del sector energético y académico*:** La transición energética va a ocurrir forzosamente por el declive de la producción de combustibles fósiles, pero es un proceso difícil porque no hay un sustituto con las mismas características energética del petróleo. Además el sistema económico global está basado en energía barata. No es posible sostener el ritmo de consumo energético actual solo con las fuentes renovables; es necesario un cambio de paradigma (ASPO, geólogos e ingenieros petroleros de la parte crítica de la industria, ecólogos, biólogos, economistas biofísicos etc.)

Petróleo y Gas: recursos no renovables

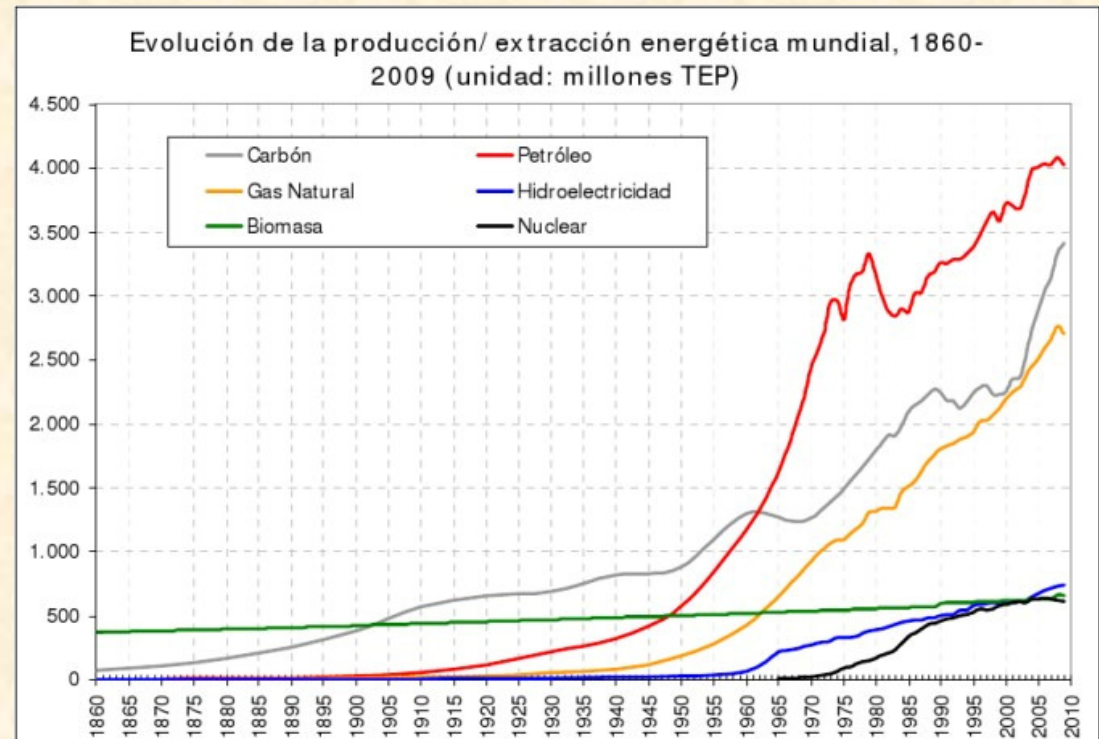
- El petróleo y el gas se forma por sepultamiento ($>P$ y T) de restos de algas, plancton y otro material orgánico **en millones de años: es energía solar del pasado**
- Luego migra lentamente hacia la superficie y puede ser atrapado en reservorios naturales
- Comúnmente se extrae solo un **30 – 40%**

El petróleo es un recurso finito, no renovable: **lo que existe en el planeta no puede aumentar**



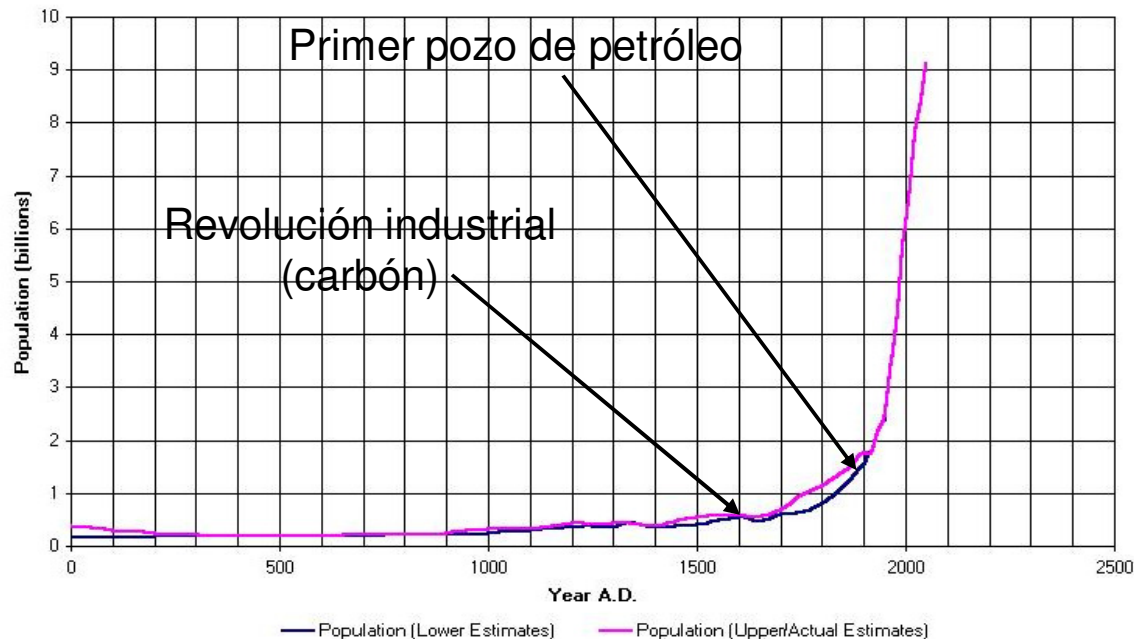
Los hidrocarburos: la base de la civilización moderna

- ❑ 82% de la energía que se usa (petróleo 40%)
- ❑ 95% de la transportación depende del petróleo
- ❑ Fundamentales para
 - Comercio internacional y globalización
 - Agricultura (fertilizantes, pesticidas, maquinaria, riego)
 - Petroquímica, materiales derivados



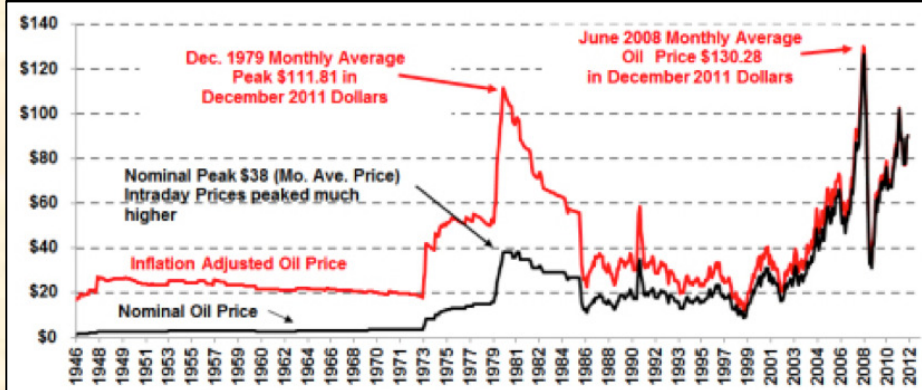
Combustibles fósiles y población

Crecimiento de la población mundial 0 - 2000



- ❑ La población mundial se incrementó 14 veces desde la Revolución Industrial y 7 veces desde que usamos petróleo
- ❑ El precio de los alimentos está estrechamente ligado al precio del petróleo

Precio del petróleo 1946-2012

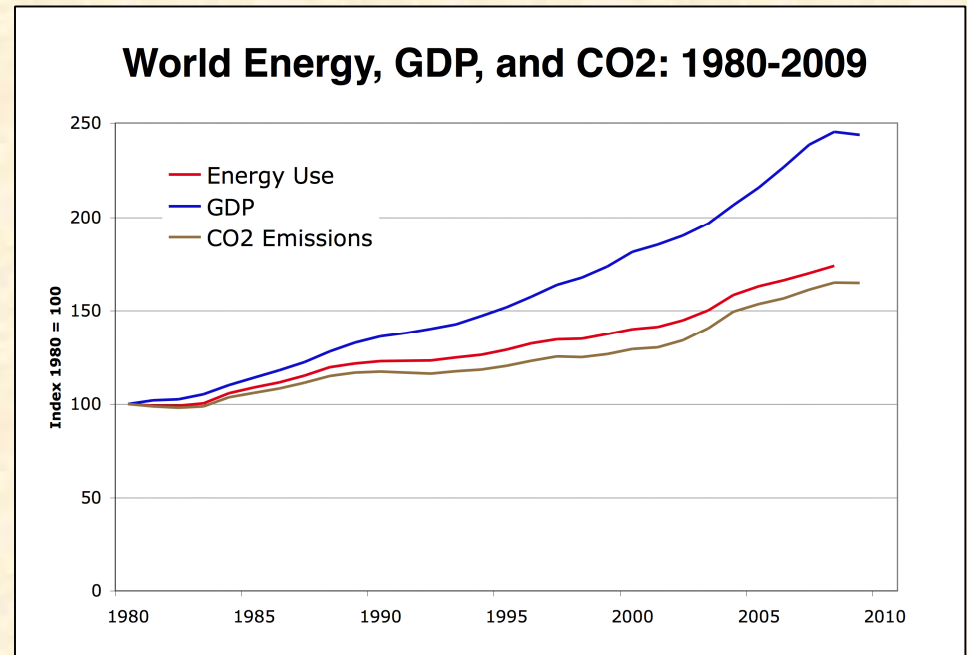
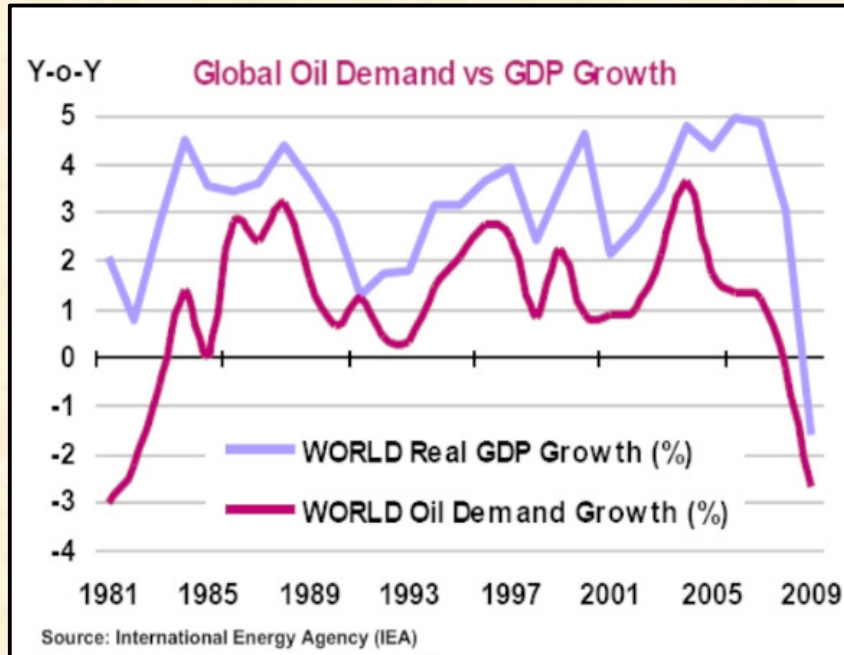


Precio alimentos (FAO) 1990-2012



Energía, economía y emisión de CO₂

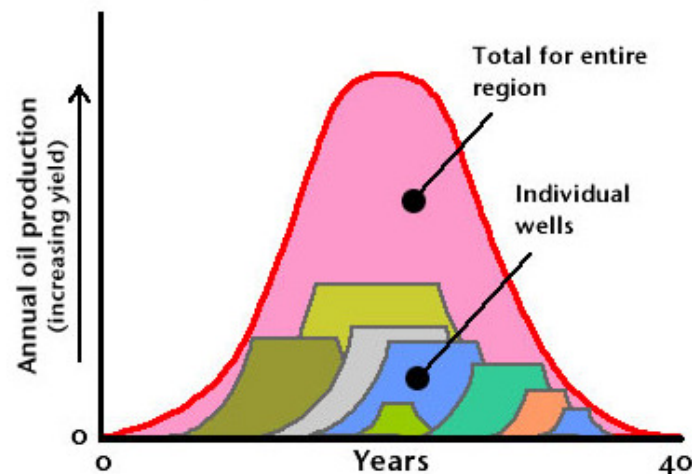
Hirsch et al., 2009, Energy Policy



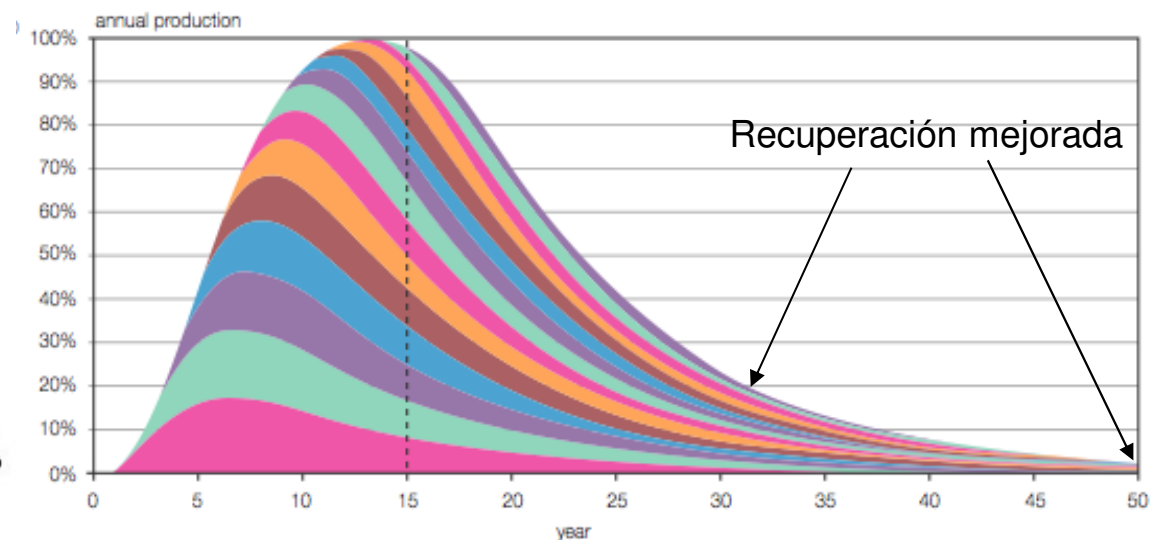
- ❑ Todo crecimiento económico requiere un incremento de la demanda de petróleo
- ❑ Existe una fuerte correlación entre consumo de energía, economía y emisiones de CO₂

El pico del petróleo (*peak oil*) no es una teoría

- ❑ La producción de todo pozo, campo o región petrolera sigue una curva en forma de campana descrita por K. Hubbert desde 1956 y comprobada en decena de pozos, campos y países.
- ❑ La producción llega a un máximo o pico al que sucede un declive hasta el agotamiento.
- ❑ La tecnología está ayudando a recuperar un poco mas de petróleo y alargar la cola de la curva.



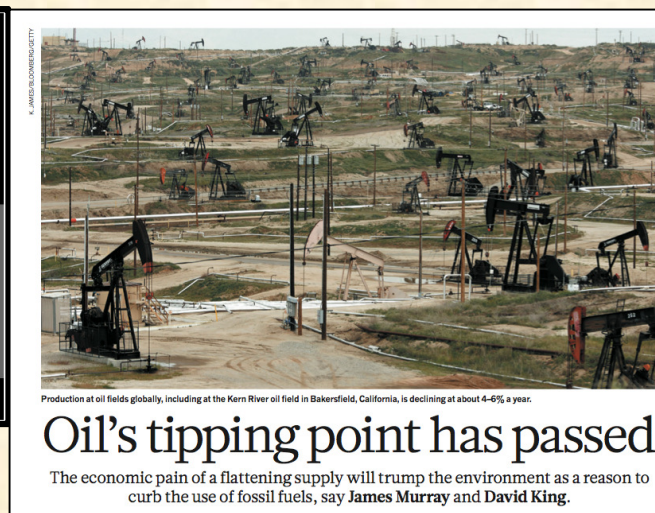
After Colin J Campbell & Jean Laherrere, The End of Cheap Oil, Scientific American, March 1998



Peak Oil: El fin del petróleo barato

El pico del petroleo NO significa el agotamiento

Significa haber usado la primera mitad: el crudo de mejor calidad, mas fácil de extraer y menos costoso



Murray & King, 2012, *Nature*



Ferrari, CIE, UNAM - 16-3-2012

El declive de la producción actual

El reconocimiento de la Agencia Internacional de Energía (2008)



- La base fundamental de la producción viene de solo 54 campos super-gigantes, **casi todos maduros y que han pasado su pico.**
- Los campos actualmente en producción **están declinando a una tasa del 5% anual**

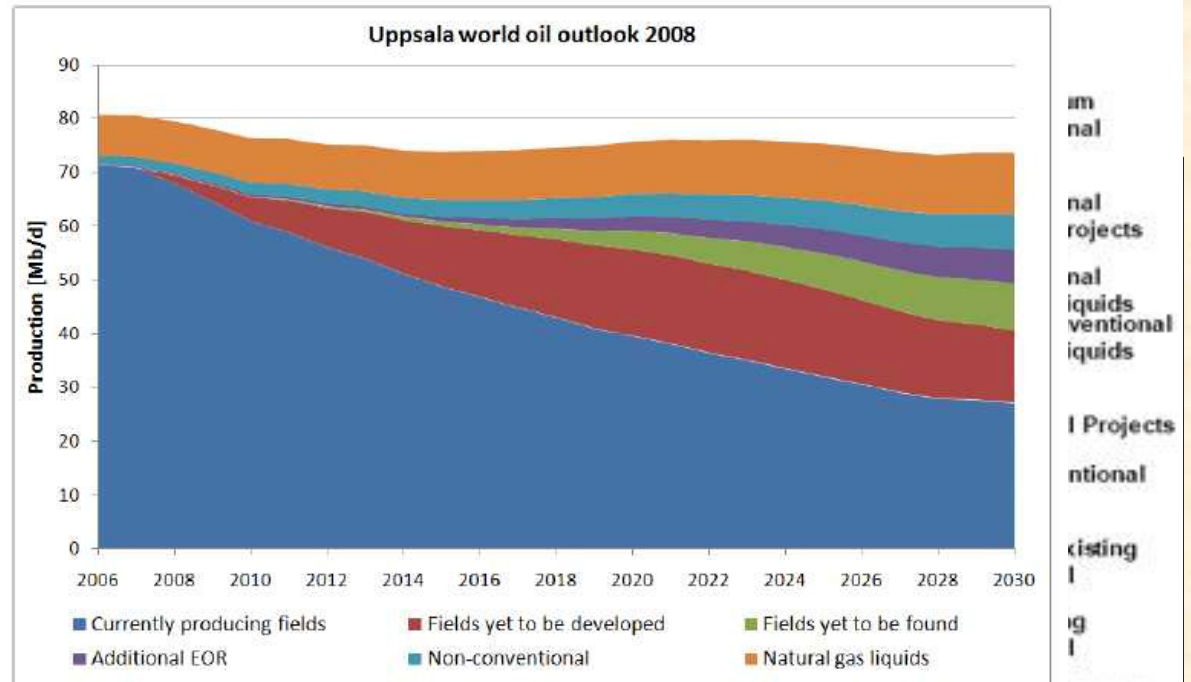
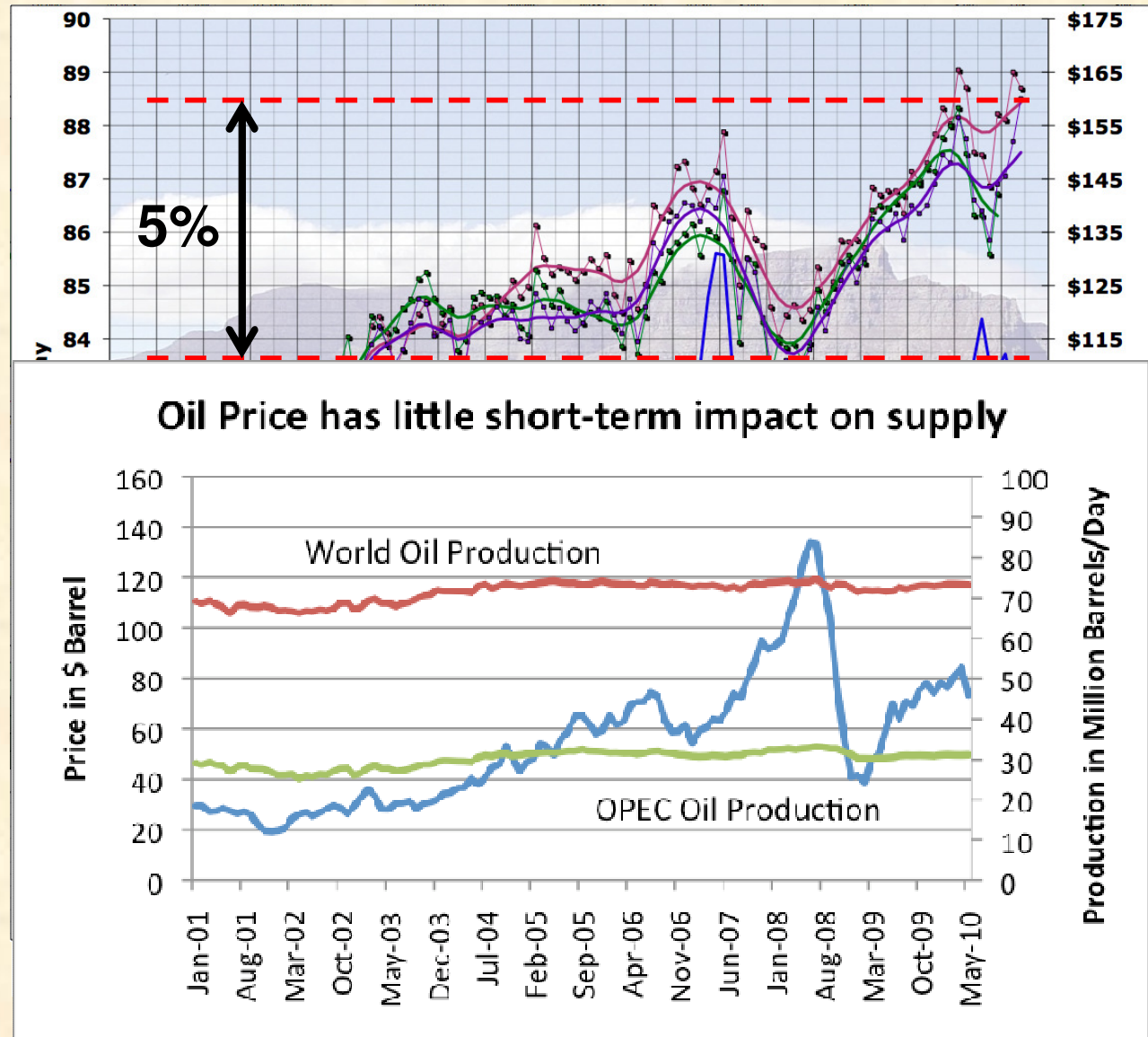


Figure 15: Total oil production based on IEA data, but using realistic depletion rates of remaining recoverable resources, minor adjustments for non-conventional oil and recalculation of NGL to oil equivalents. The production volumes from fields yet to be developed or found should be regarded as optimistic.

“The world’s energy system is at a crossroads. Current global trends in energy supply and consumption are patently unsustainable — environmentally, economically, socially.”

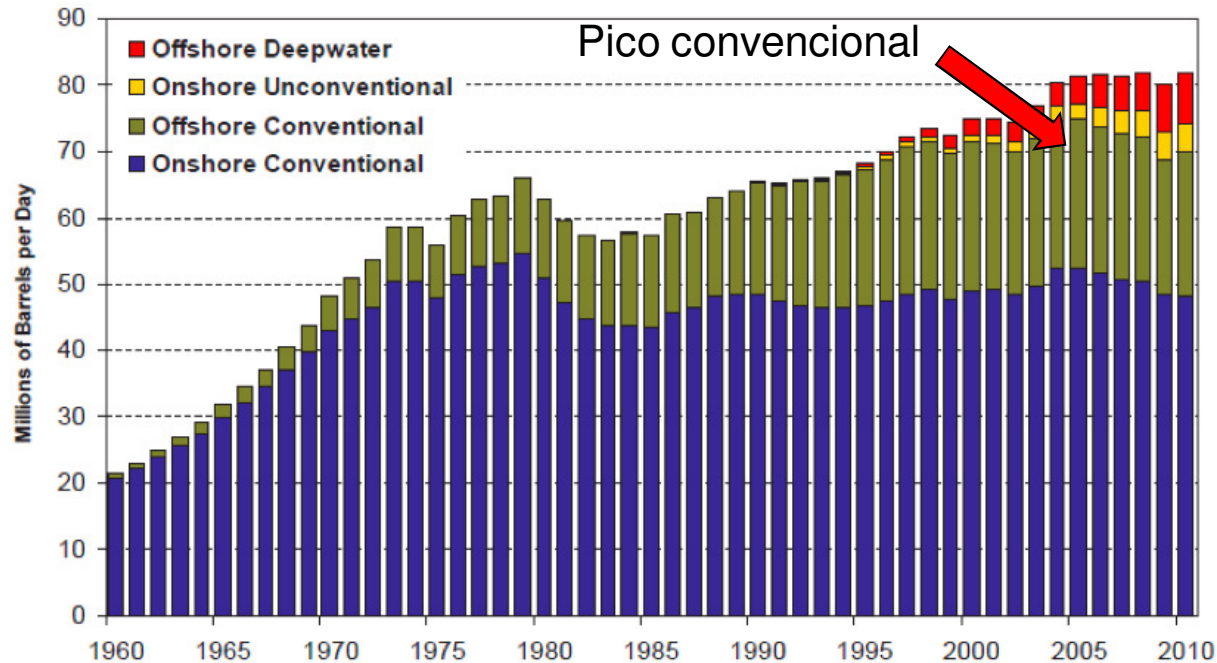
El pico (meseta) de la producción mundial

- ❑ A pesar del aumento vertiginoso de los precios iniciados en 2004 (400%), la producción se mantiene en una banda de fluctuación del 5%.
- ❑ La nueva producción es apenas suficiente a reponer el declive de los campos existentes



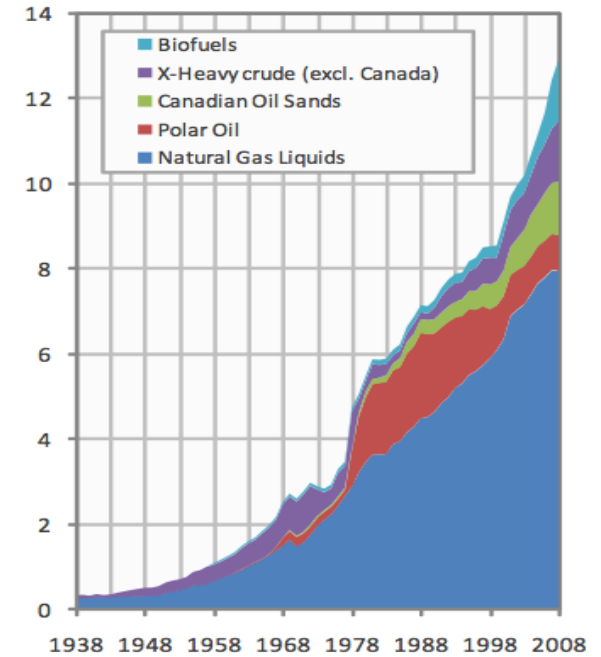
¿De donde viene la nueva producción?

Global Oil Production – Onshore and Offshore, Conventional and Unconventional



Source: Energyfiles, Energy Information Administration, BP Statistical Review of World Energy, Wood Mackenzie As of 12/31/10

Chart 6: Unconventional Oil Production 1938 - 2008



Source: EIA, EIA & CAPP

El pico del petróleo convencional se tocó en 2005-2006. La diferencia la está colmando el petróleo de **aguas profundas y el petróleo no convencional**. Se sigue contando en barriles pero tiene menos energía

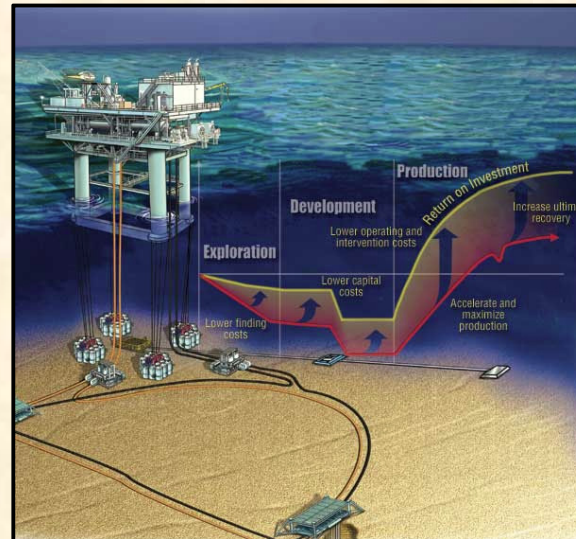
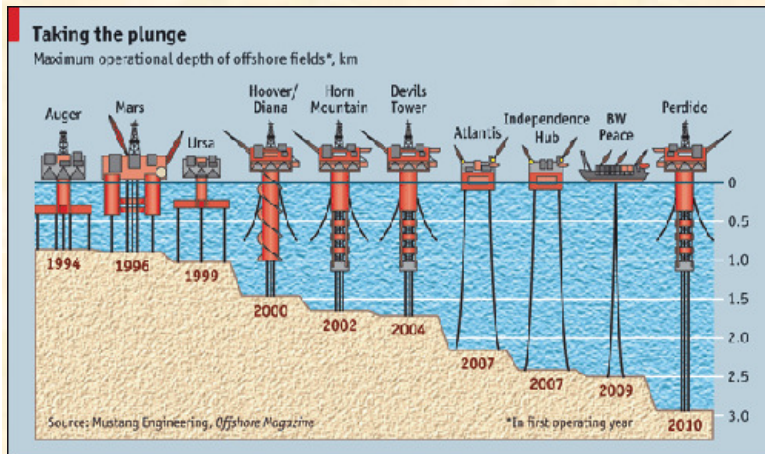
Petróleo no convencional: aguas profundas

Es el petróleo de campos *off-shore* con tirante de agua >500 m (+1-7 km de roca)

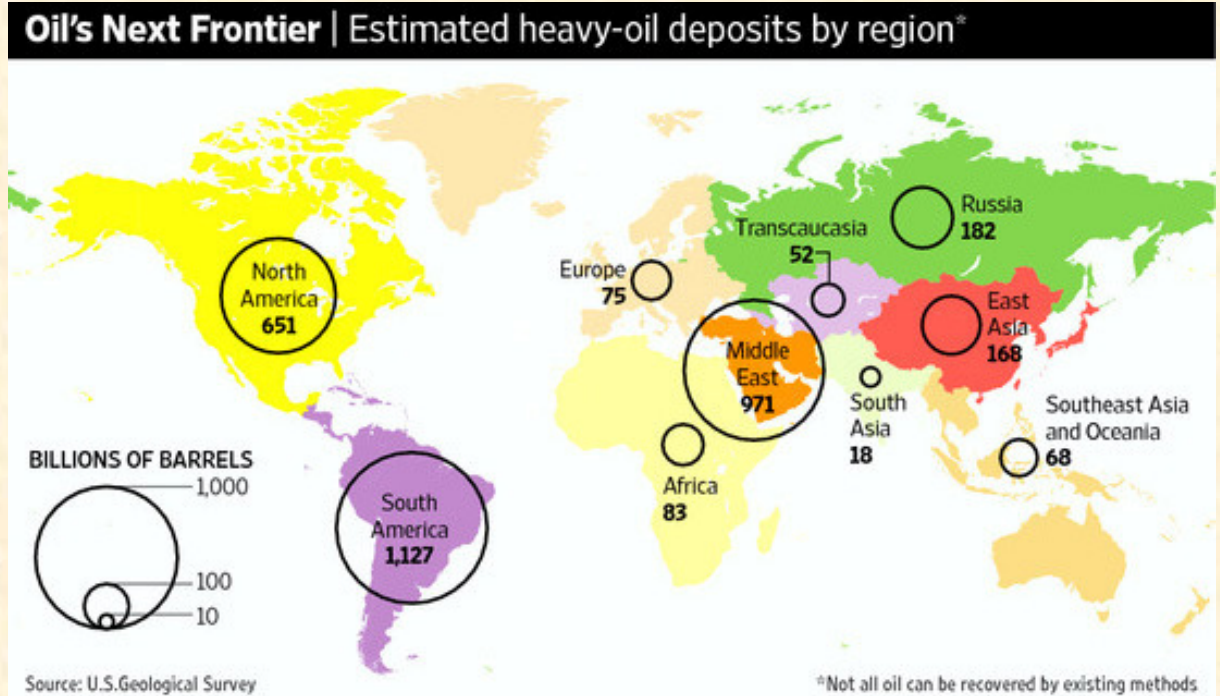
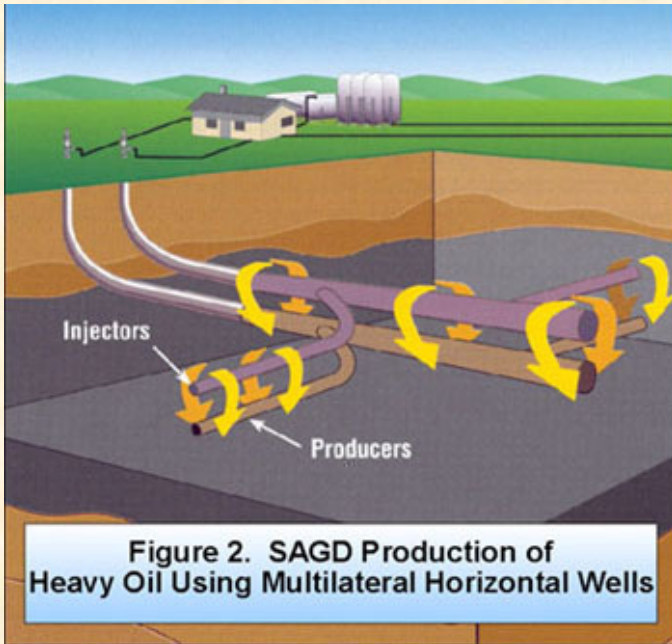
Su producción requiere infraestructura submarina y operación remota por robots

- Complejidad geológica y problemas de identificación geofísica
- Corrientes marinas, huracanes $\Rightarrow$ movimiento estructuras, vibración en tuberías etc.
- Cambios de temperatura $\Rightarrow$ dificultad de bombeo, > viscosidad
- Capa de sal $\Rightarrow$ Tecnologías especializadas para perforación
- Desarrollo de un menor número de pozos

$\Rightarrow$ **Petrolío caro: 70-85 USD/barril (sin contar primas de riesgo y costos de desastres ambientales)**



Petróleo no convencional: crudo pesado



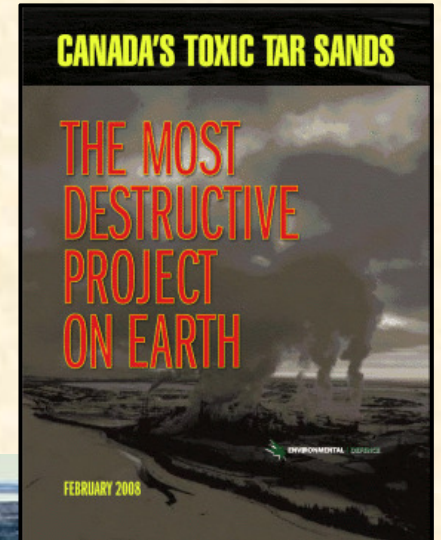
- El crudo pesado y extra-pesado es un petróleo de muy alta viscosidad que necesita sistemas de producción especiales (pozos horizontales, inyección de vapor y/o solventes).
 - Yacimientos conocidos desde tiempo que hasta hace una década no eran económicamente y/o técnicamente explotables (p.ej. Claire afuera de Escocia, Haradh y Khurais in Arabia Saudita).
- ⇒ **Costos adicionales para extracción y refinación: Petróleo caro, menor contenido energético.**

Petróleo no convencional: arenas asfálticas

Tar Sands: Arenas impregnadas que se explotan a cielo abierto. Responsables de grandes devastaciones ambientales

- Requieren (y contaminan) grandes cantidades de agua
- Baja intensidad energética: requieren energía para ser transportadas y gas natural para obtener líquidos para su posterior refinación

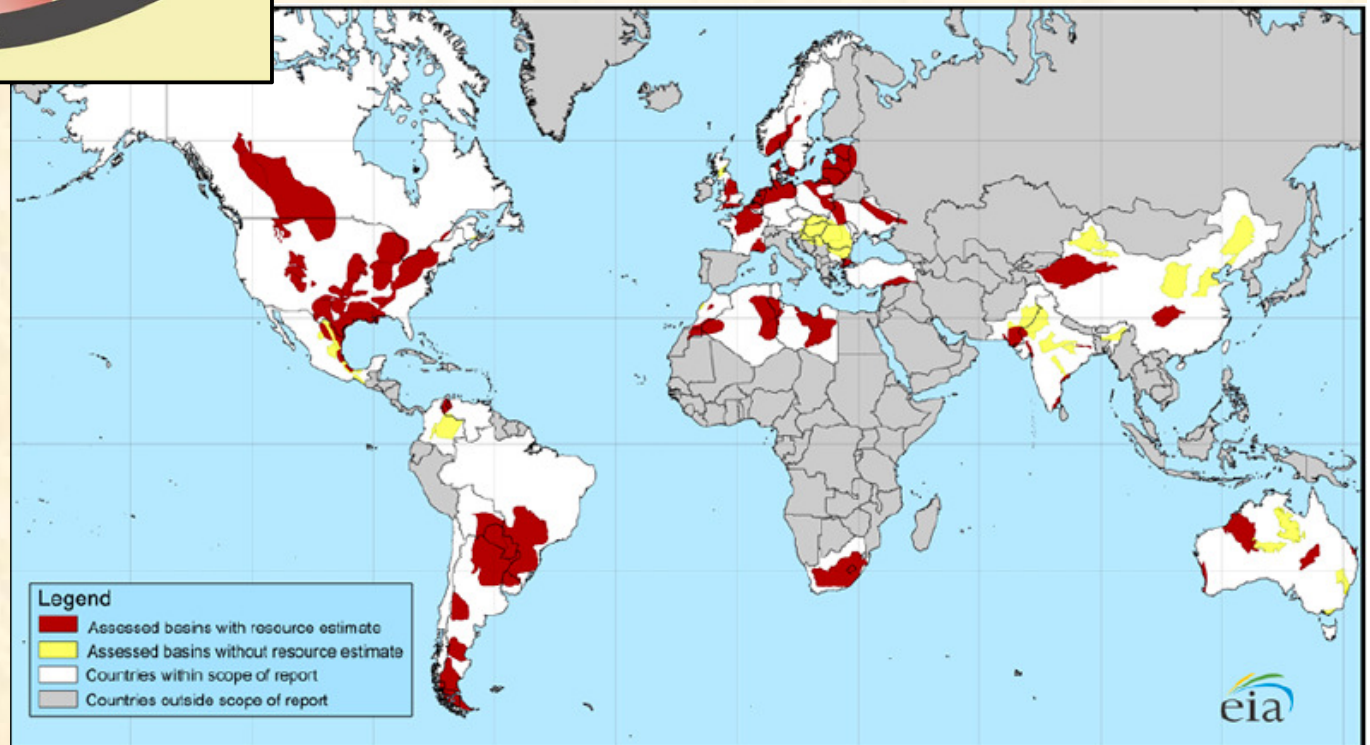
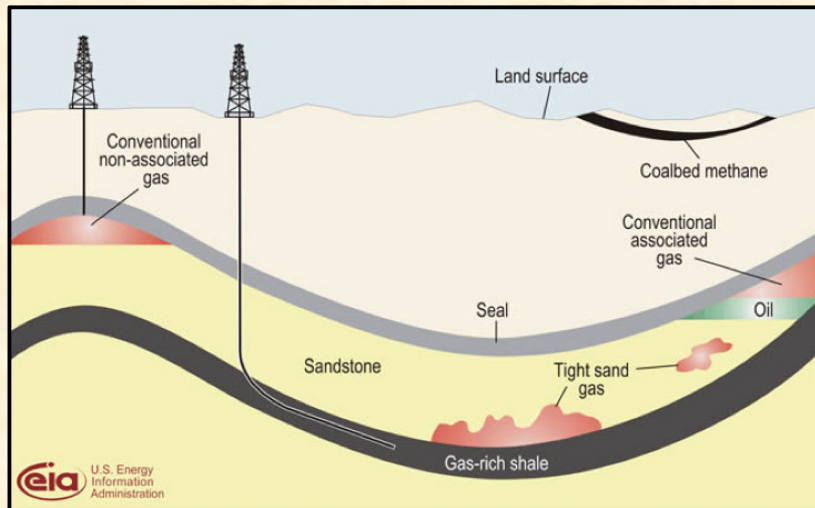
⇒ **Petrolío caro: ~100 USD/ barril**



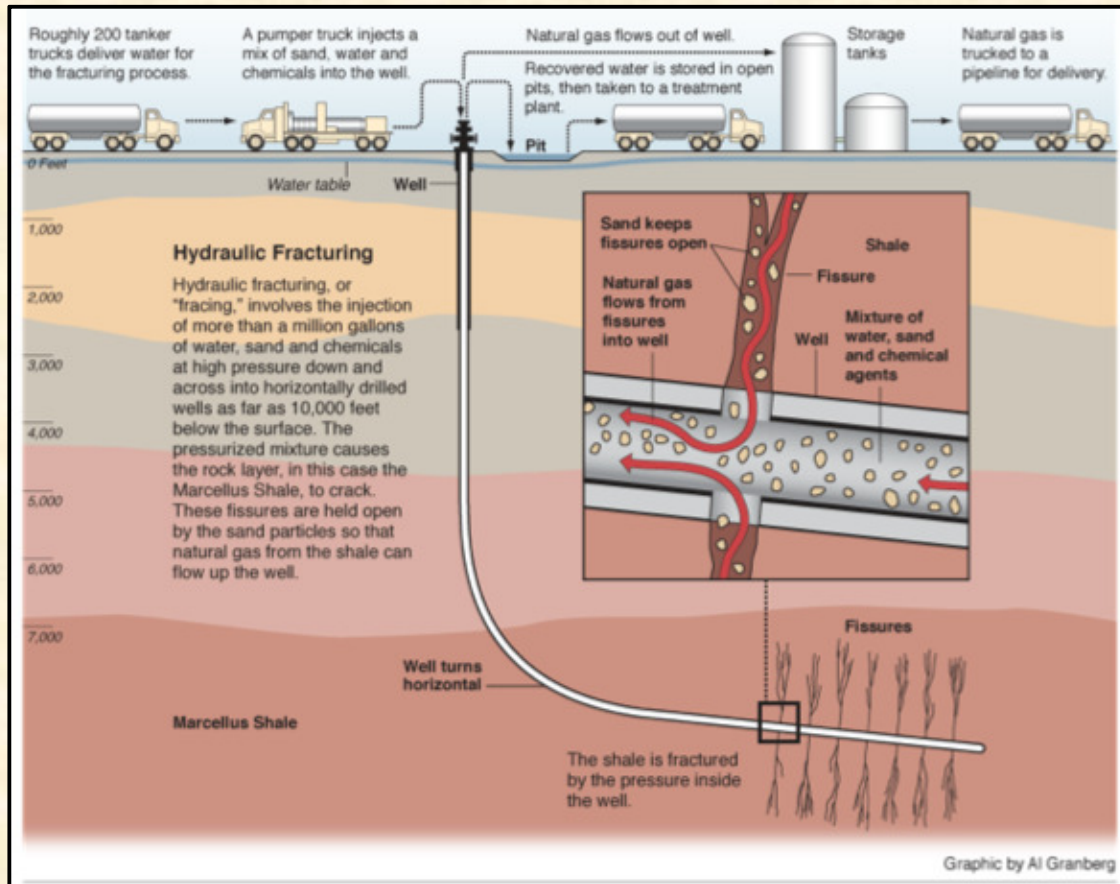
© Garth Lenz

Gas no convencional: *shales gas*

Pequeñas gotas de gas entrampadas en las capas de arcillas impermeables. Se estima que existen reservas explotable en muchas cuencas sedimentarias del mundo.



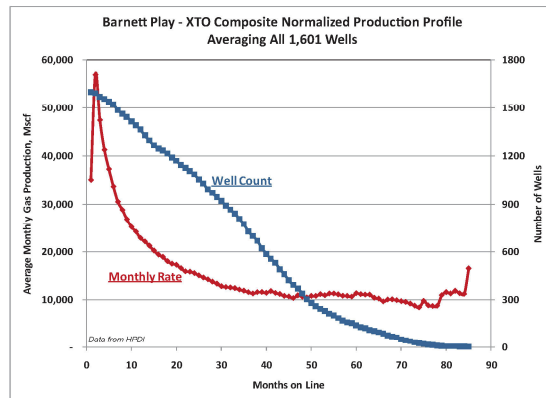
Gas no convencional: *shales gas*



- ❑ A diferencia del gas convencional en el gas de lutitas (shales gas) la roca generadora funciona también como roca almacén.
- ❑ Para poder producir el gas entrampado en las lutitas de manera comercial se requieren pozos horizontales, fracturamiento hidráulico masivo con inyección de agua, arena y agentes químicos a alta presión.
- ❑ Puede contaminar los acuíferos y provocar sismicidad.

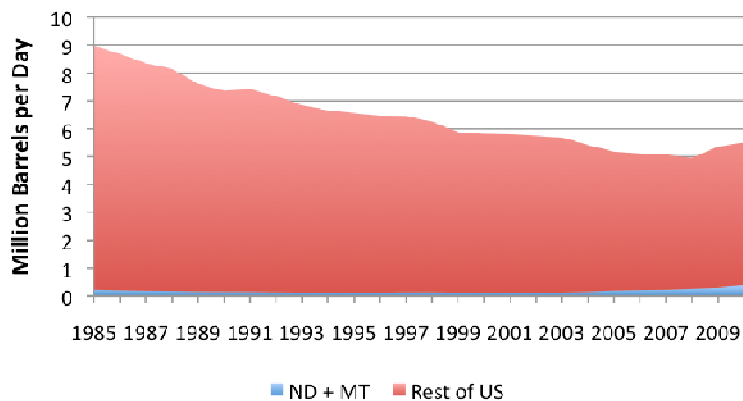
Gas no convencional: *shales gas*

Exhibit 3 – Composite Normalized Production Profile For XTO Barnett Wells



Berman & Pittinger, 2011,
<http://www.theoildrum.com/node/8212>

US Crude Oil Production - EIA



Tverberg, 2011, <http://www.theoildrum.com/node/7499>

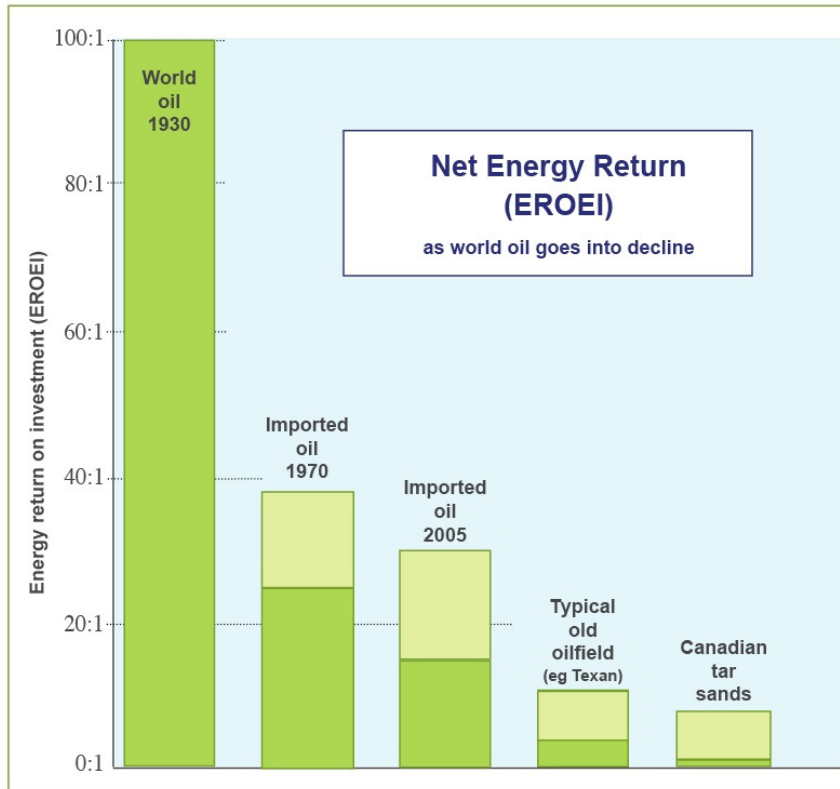
- Se ha empezado a explotar de manera importante solo en EEUU
- No es claro todavía con los precios actuales es rentable debido a los altos costos iniciales para perforación y extracción
- La cantidad de reservas y cálculos de rentabilidad dependen de la tasa de recuperación, todavía no bien estimada. Aún con los pocos años de historia de la explotación se ha visto que con frecuencia las estimaciones iniciales eran muy optimistas (la producción tiende a caer muy rápidamente)
- El gas puede sustituir solo parcialmente el petróleo
- En el contexto de la producción y del consumo de petróleo de EEUU la producción de gas representa un porcentaje muy limitado

El costo energético de la producción de energía

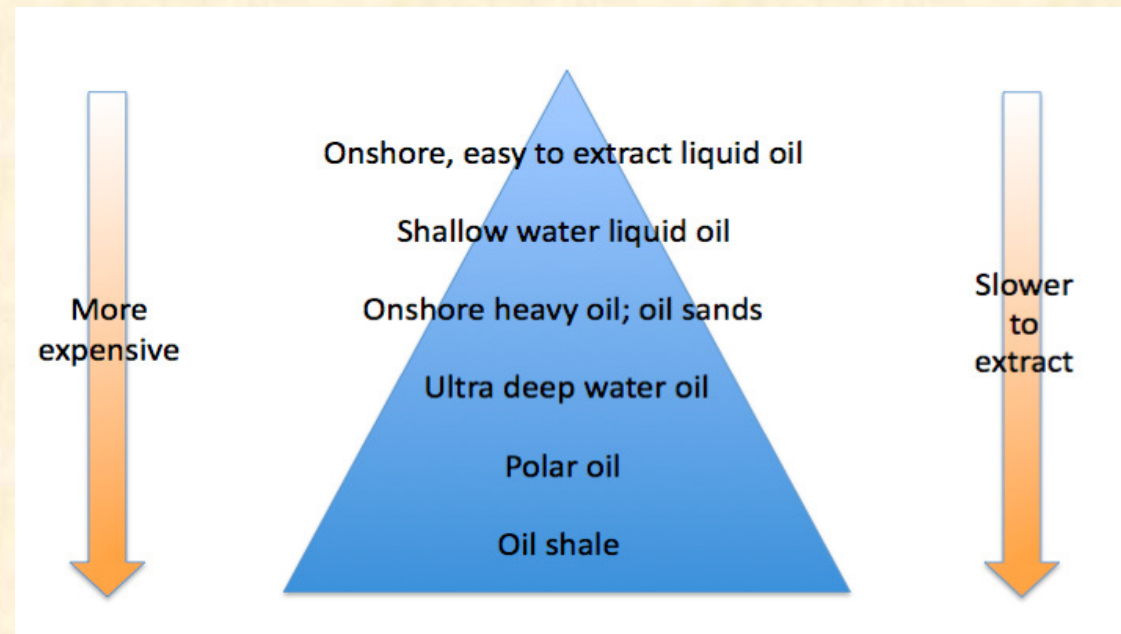
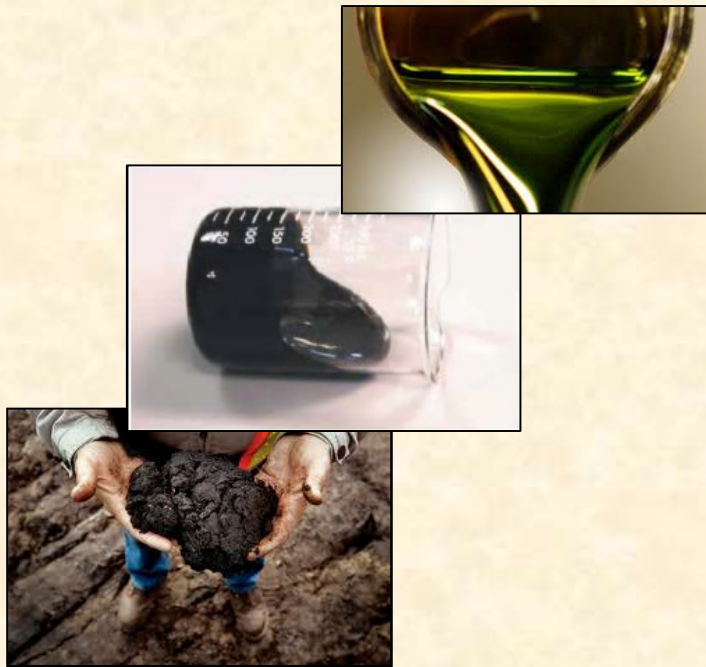
Termodinámica vs. Economía

El concepto de tasa de retorno energético (Energy Return On Energy Invested)

Relación entre la energía consumada para obtener un recurso y la energía que se obtiene de el. En 1930 la energía de 1 barril de petróleo era suficiente a producir 100 barriles . En 2000 esta relación era de 10:1. Como resultado la energía disponible es cada vez menor. Obviamente cuando la EROEI es 1:1 no tiene sentido producir, pero se estima que debe ser entre 5:1 y 3:1 para soportar una sociedad medianamente compleja.

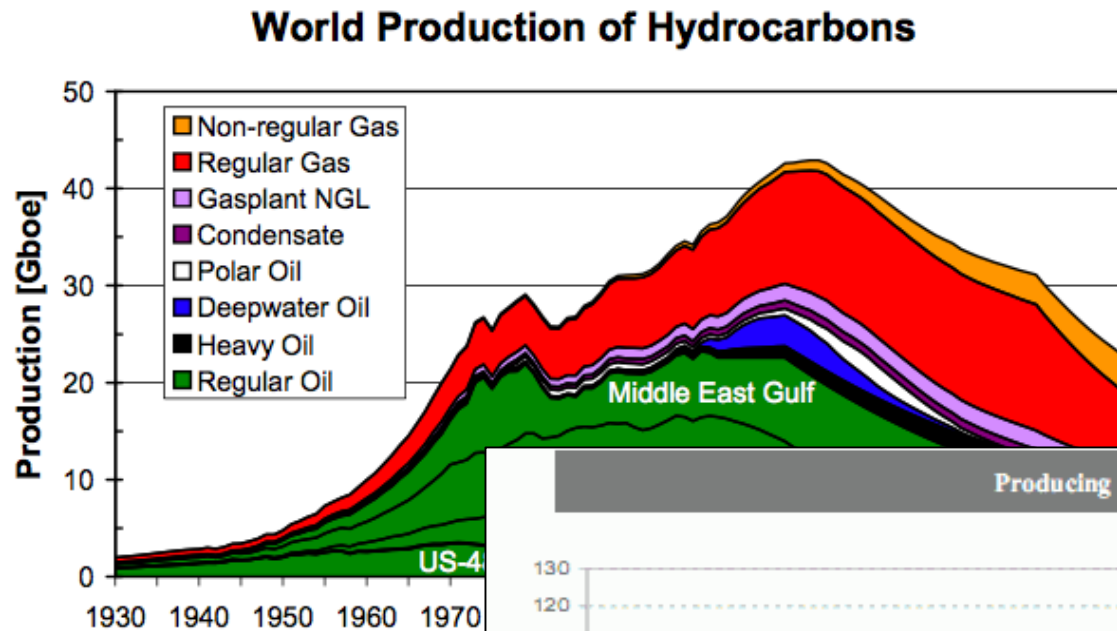


El descenso en la piramide energética



- ❑ Aunque la producción de petróleo no convencional sigue aumentando este representa solo el 13% del consumo mundial.
- ❑ El petróleo de mejor calidad, mas fácil de extraer y mas barato se ha acabado. Hemos entrado en la era del petróleo difícil.
- ❑ Estamos explotando áreas complejas del punto de vista técnico y/o geopolíticos y con mayores riesgos de desastres ambientales. Este “petróleo” tiene un alto costo económico (>80 USD/barril), energetico (EROEI <10:1) y ecológico.

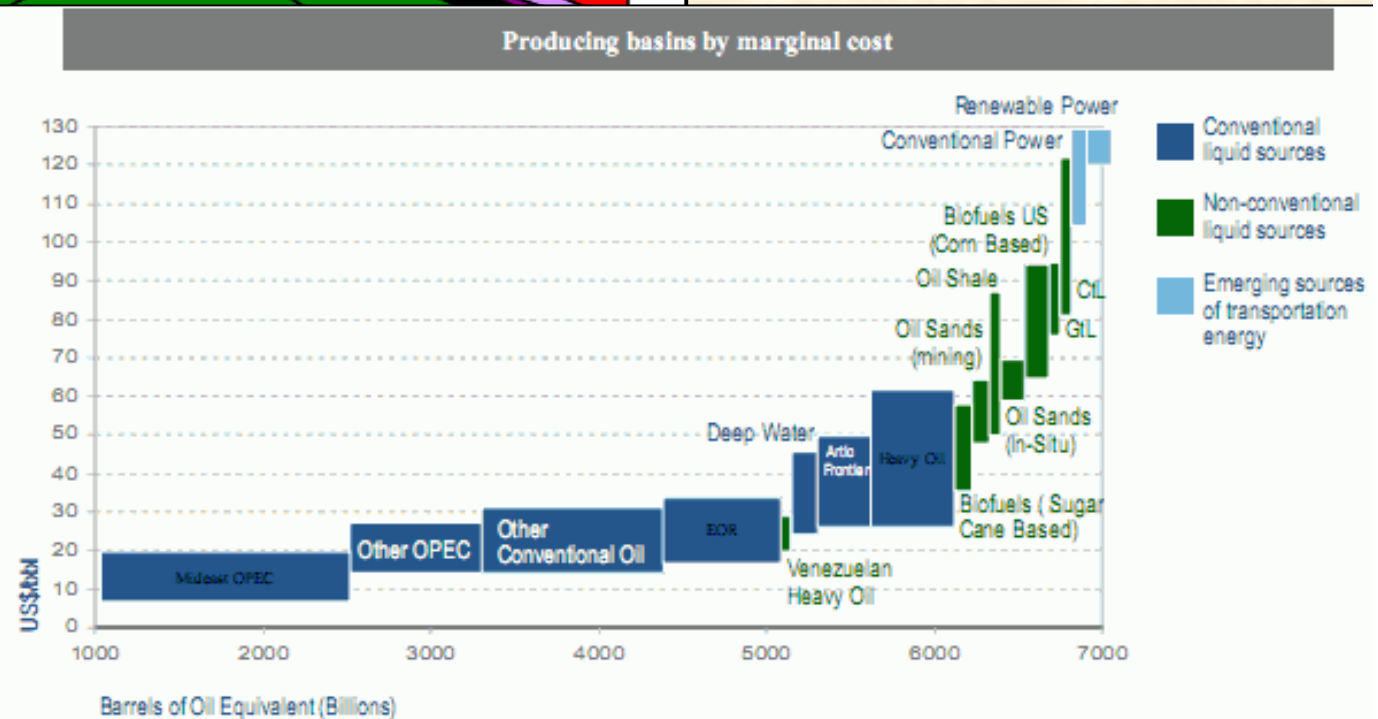
Escenario de producción a futuro para petróleo y gas



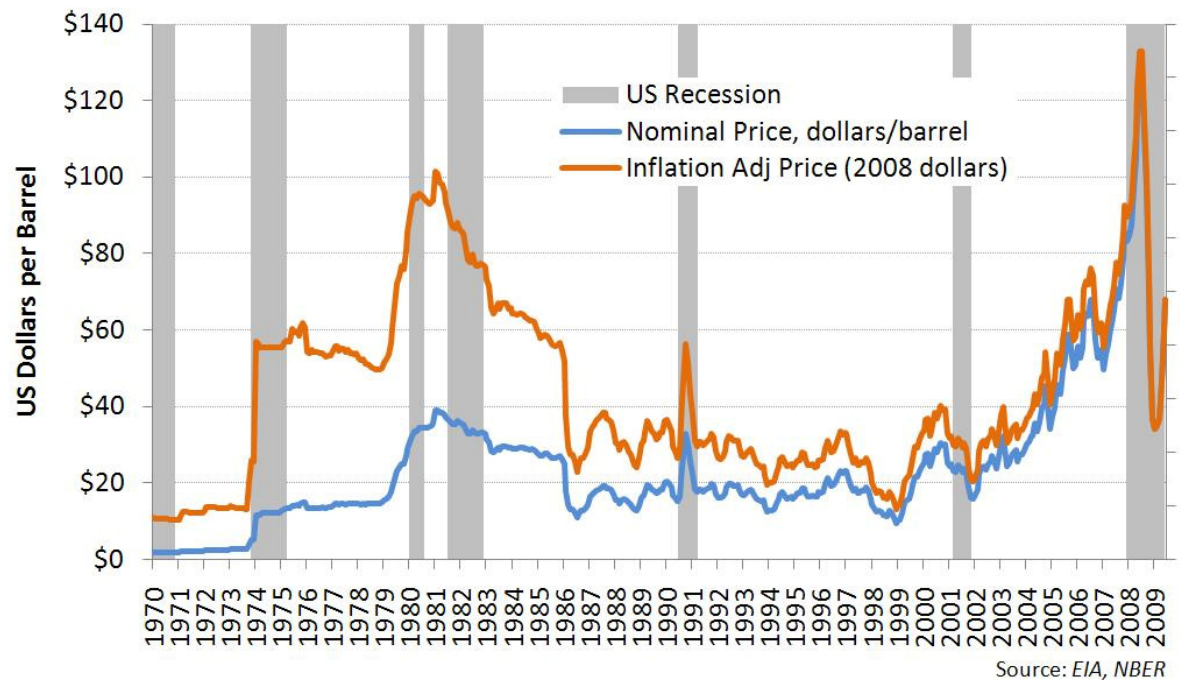
□ Pico global alrededor de 2015

□ Petróleo caro: >100 USD/barril

Association for the



Implicaciones económicas globales del pico del petróleo



La economía global se ha fundado sobre la energía barata y el crecimiento continuo. El pico del petróleo no es solo un asunto técnico sino también económico: cuando el precio del petróleo llega a un nivel que la economía no puede aguantar esta entra en recesión.

Desde 2008 hemos entrado en la era del petróleo caro y las economías de los países que más importan petróleo no han salido del estancamiento/recesión y están al borde de la quiebra.

Science

AAAS

Scaling Up Alternative Energy

NEWS

Do We Have the Energy For the Next Transition?

Past energy transitions to inherently attractive fossil fuels took half a century; moving the world to cleaner fuels could be harder and slower



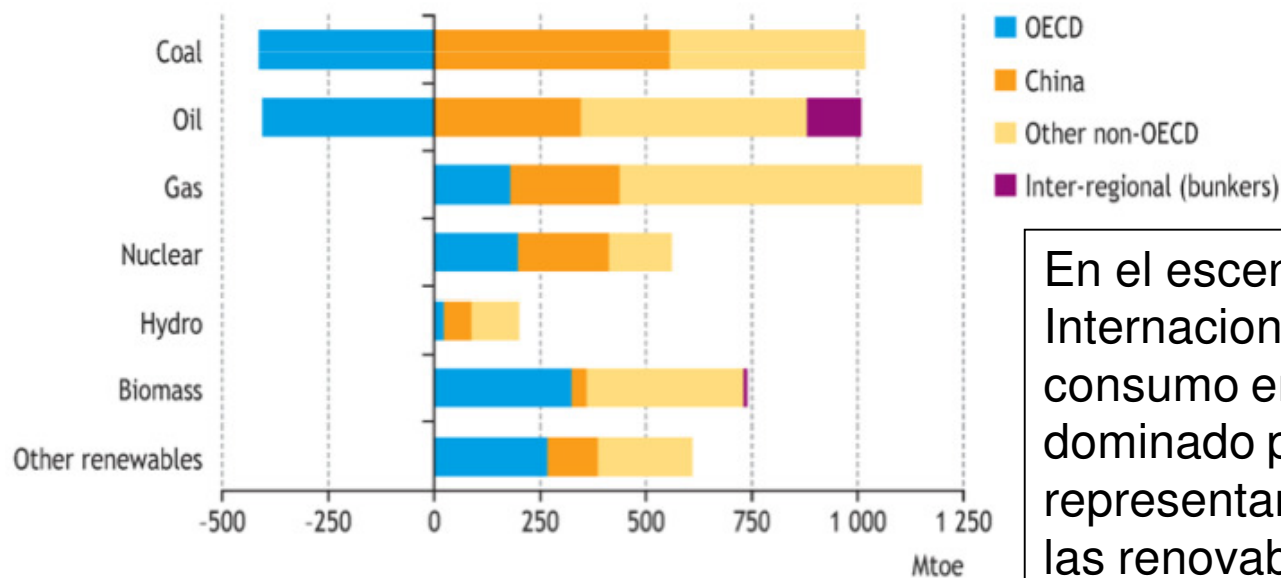
Escenarios de sustitución de las energías fósiles

1- Los conservadores

Emerging economies dominate the growth in demand for all fuels

World
Energy
Outlook

**Incremental primary energy demand by fuel & region
in the New Policies Scenario, 2008-2035**



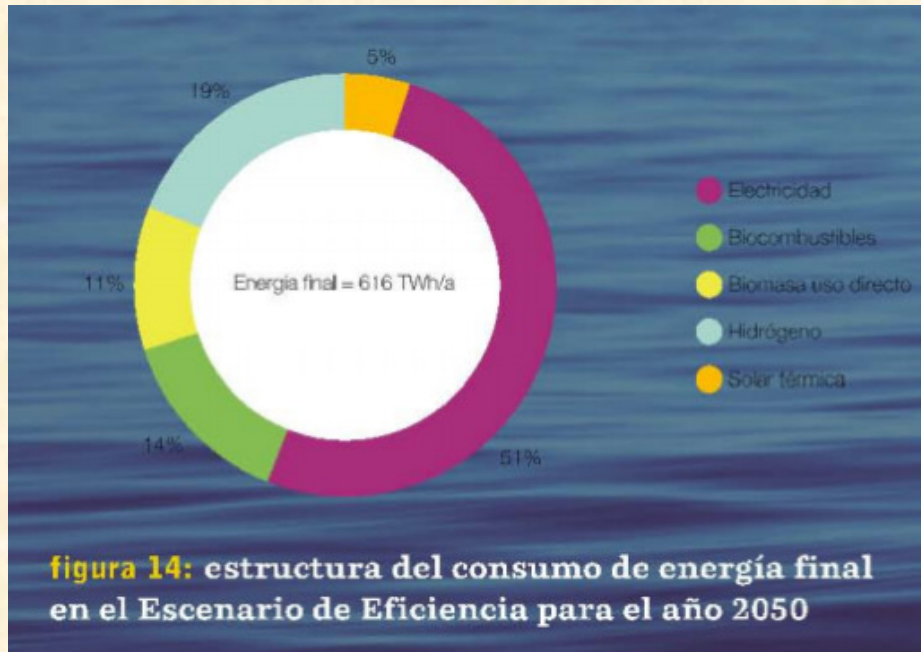
En el escenario de la Agencia Internacional de Energía el consumo en 2035 sigue siendo dominado por energía fósiles que representan todavía el doble de las renovables

Demand for all types of energy increases in non-OECD countries, while demand for coal & oil declines in the OECD

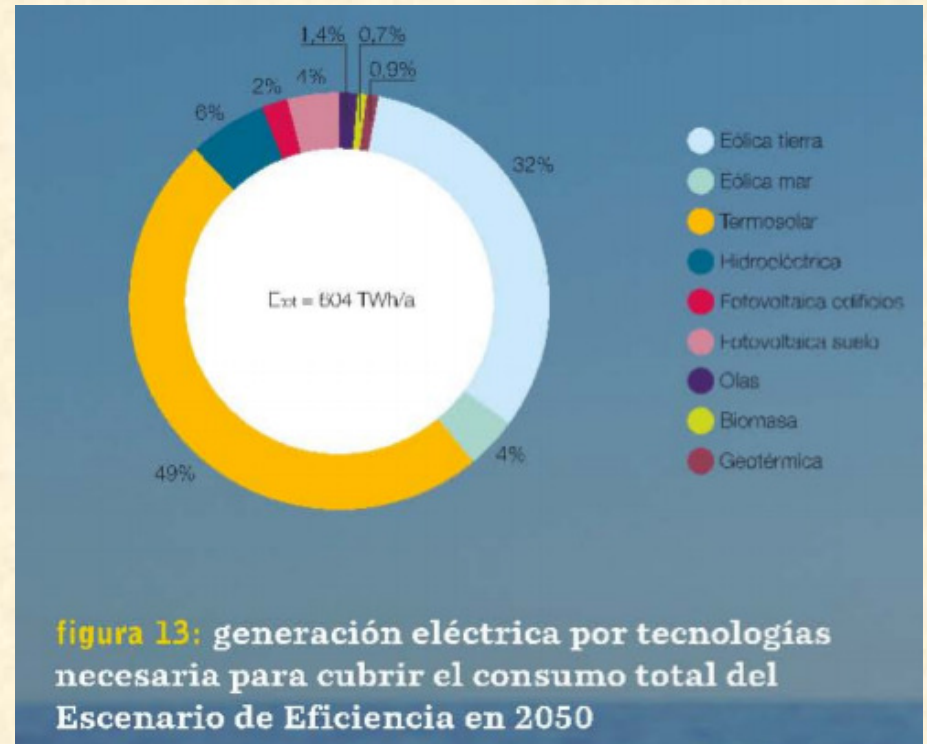
© OECD/IEA 2010

Escenarios de sustitución de las energías fósiles

2 - Los radicales



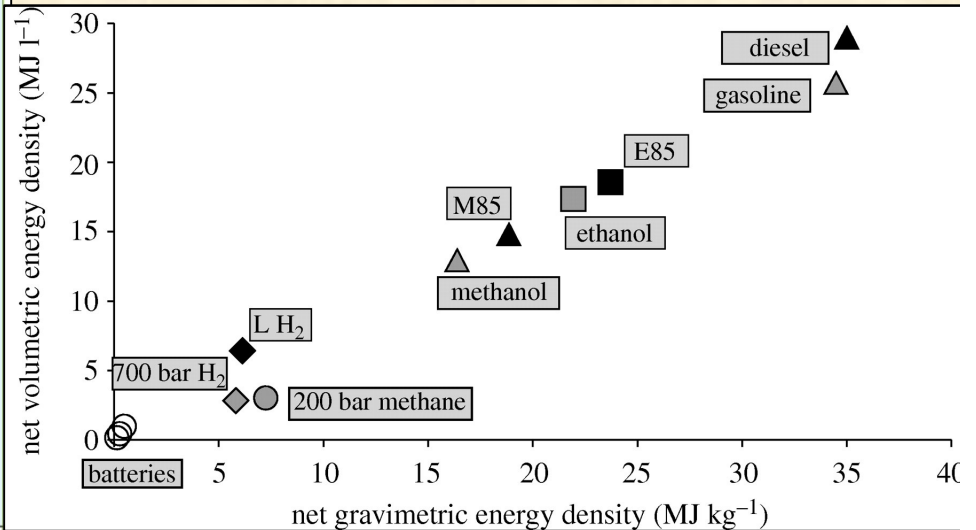
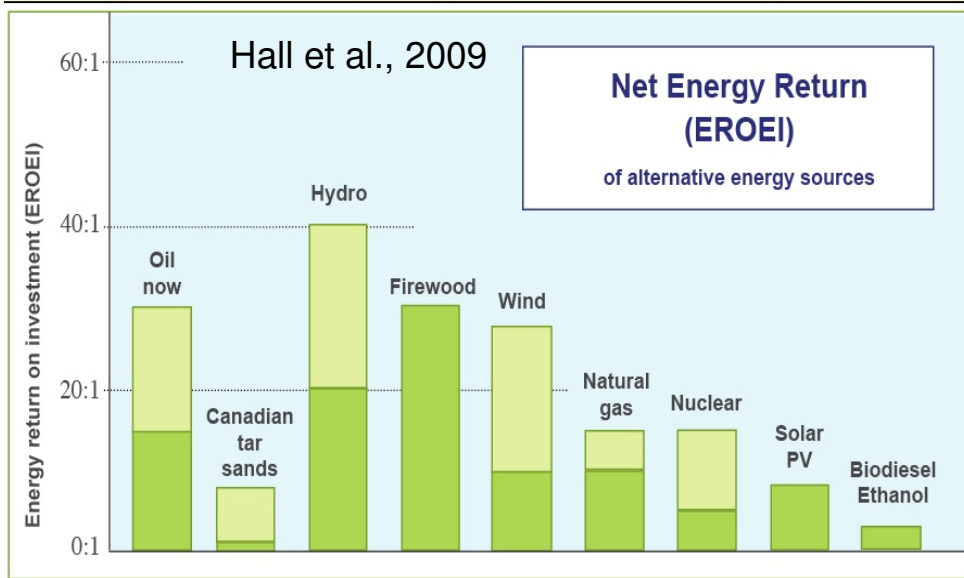
Energía 3 – Greenpeace, 2011



Los escenarios mas optimistas prevén sustituir al 100% los combustibles fósiles de aquí al 2050. Para esta fecha la matriz energética sería constituida por un 51% de electricidad (en gran mayoría solar y eólica), 25% biocombustibles y biomasa, 19% hidrogeno (producto del surplus solar y eólico), 5% solar térmica.

Los retos de sustituir las energías fósiles

1 – menor intensidad energética de las renovables



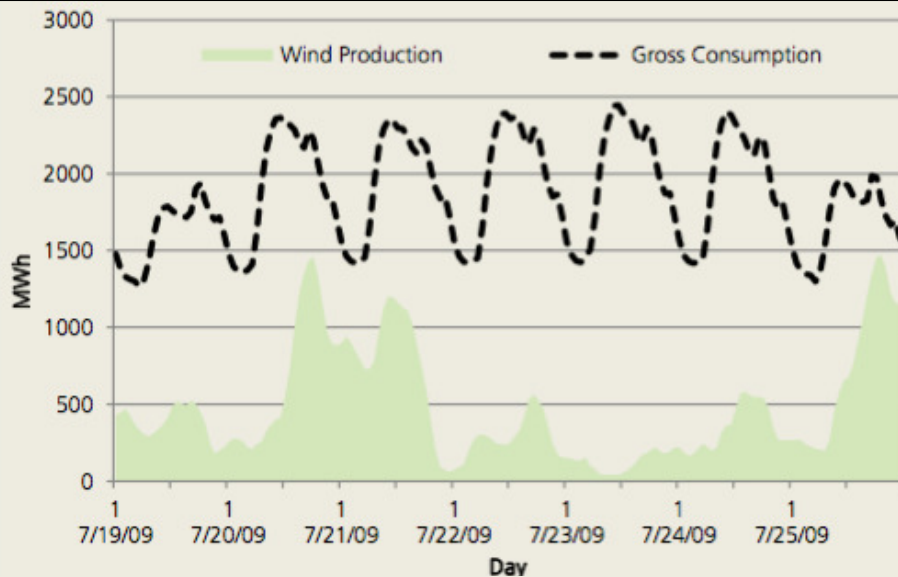
Jiang Z et al., 2010 Phil. Trans. R. Soc.

- ❑ La EROEI de las fuentes renovables es casi siempre mas baja del petróleo
- ❑ Esto hace las renovables mas costosa que el petróleo convencional y en varios casos tambien mas costosas del petróleo no convencional
- ❑ La densidad energética de los sistemas de almacenamiento electricos es tambien mucho menor que el petróleo, lo que influye sobre el desarrollo del coche eléctrico

Los retos de sustituir las energías fósiles

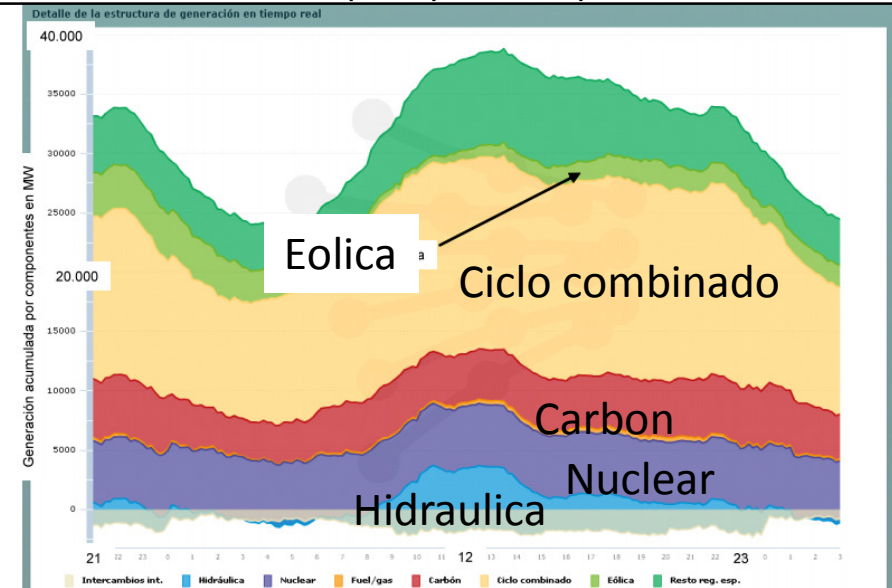
2 – Suministro irregular, sustitución solo parcial

Consumo de electricidad y producción eólica, Dinamarca



Institute for Integrated Economic Research, 2010

Generación eléctrica por tipo en España, 15.07.2009



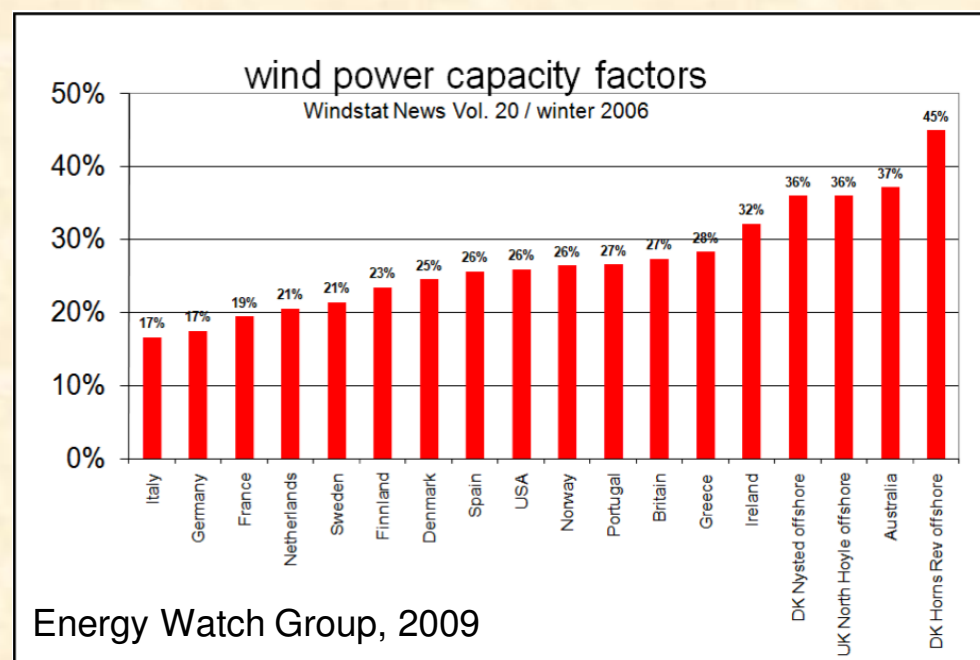
La mayoría de las fuentes renovables es irregular (sol, viento, mareas) y por ende presentan problemas para integrarse a la red eléctrica que necesita una base regular de suministro

Esto implica sistema de almacenamiento del excedente (p.ej. con hidrógeno) que conlleva costos adicionales

Los retos de sustituir las energías fósiles

2 – Suministro irregular, sustitución solo parcial

Source	Typical aggregate capacity factor	Controllable range	Economic range
Wind	15-26%	Not controllable	Not controllable
Solar	11-16%	Not controllable	Not controllable
Natural Gas	40%	0-95%	0-95%
Hydro (dams)	30-60%	30-95 (if available)	30-95%
Coal	60-70%	0-95%	60-95%
Nuclear	80-90%	0-95%	80-95%

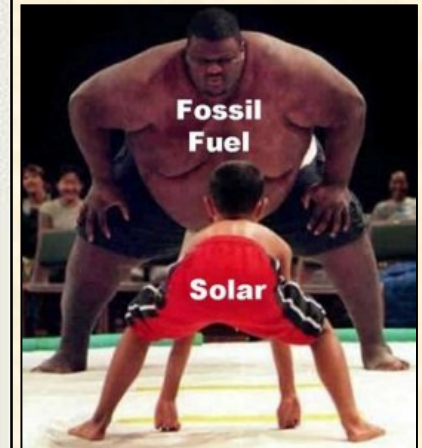
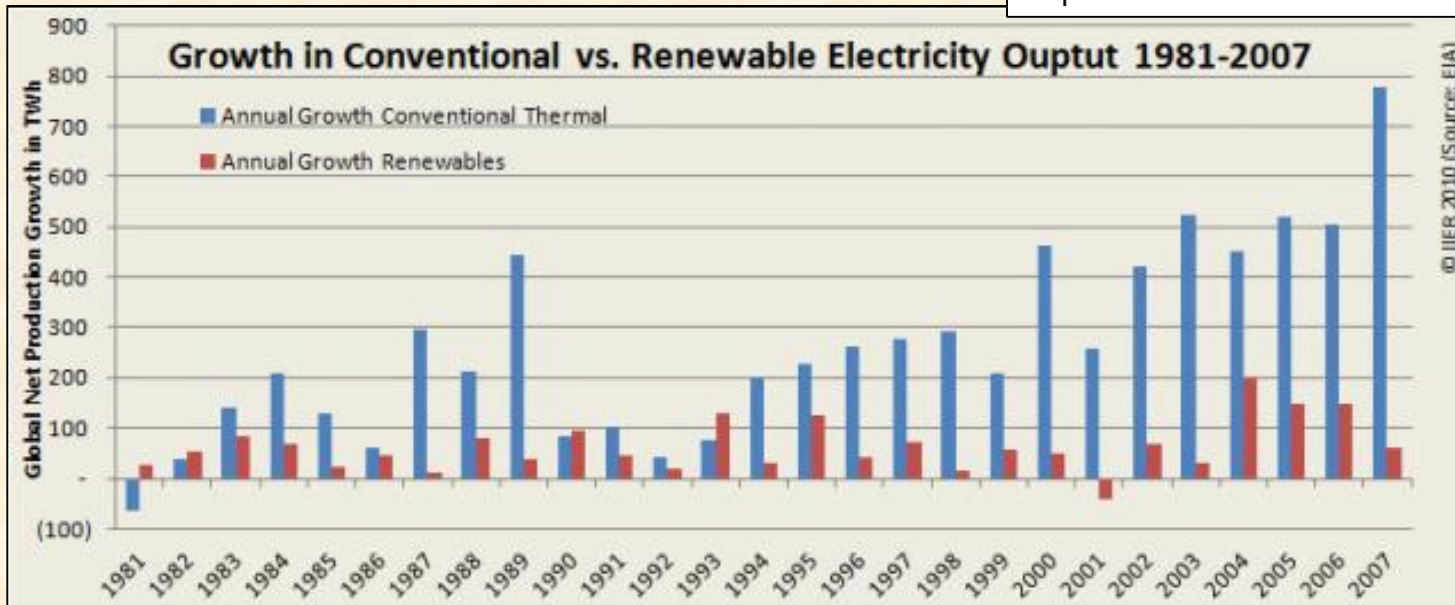
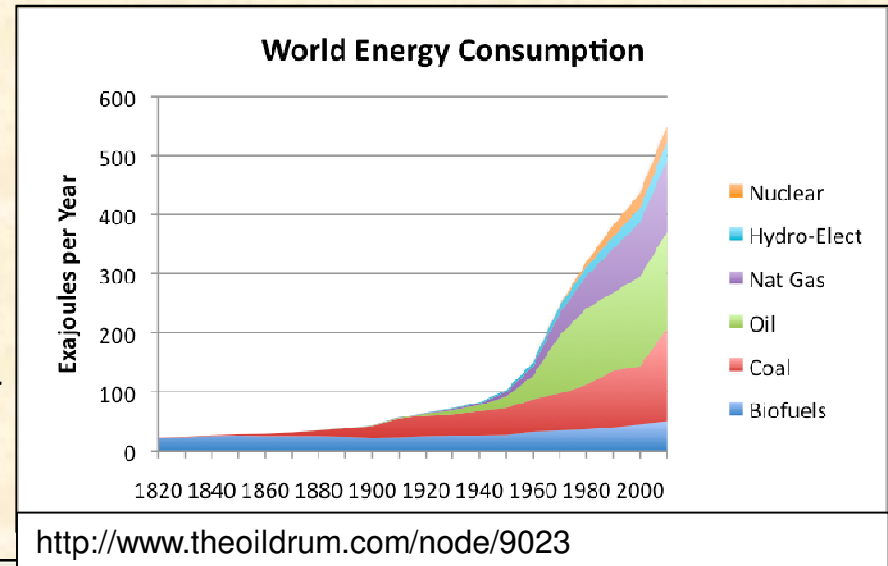


Debido a la irregularidad de la fuente el factor de planta es típicamente de un 30%

Los retos de sustituir las energías fósiles

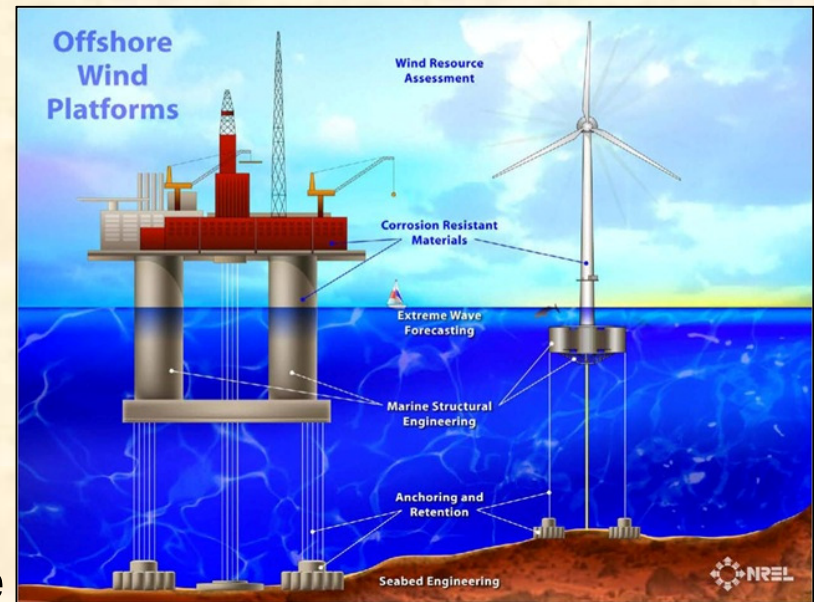
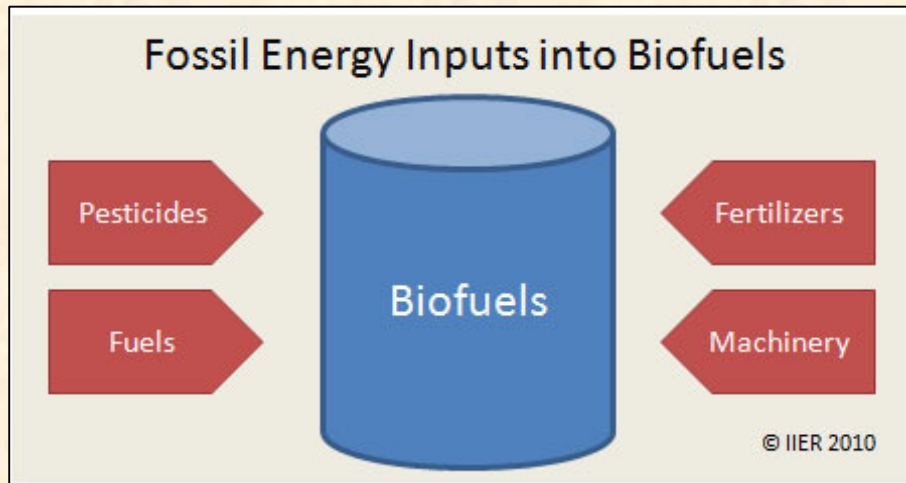
3 – ¿demasiado tarde, demasiado poco?

La transición energética requiere décadas. Los incrementos de la contribución de las renovables son lentos comparados con los combustibles fósiles. No obstante el crecimiento importante que han tenido la energía solar y eólica en las última década la energía producida por combustibles fósiles ha crecido mas que la de las renovables.



Los retos de sustituir las energías fósiles

4 – Dependencia de energía fósiles

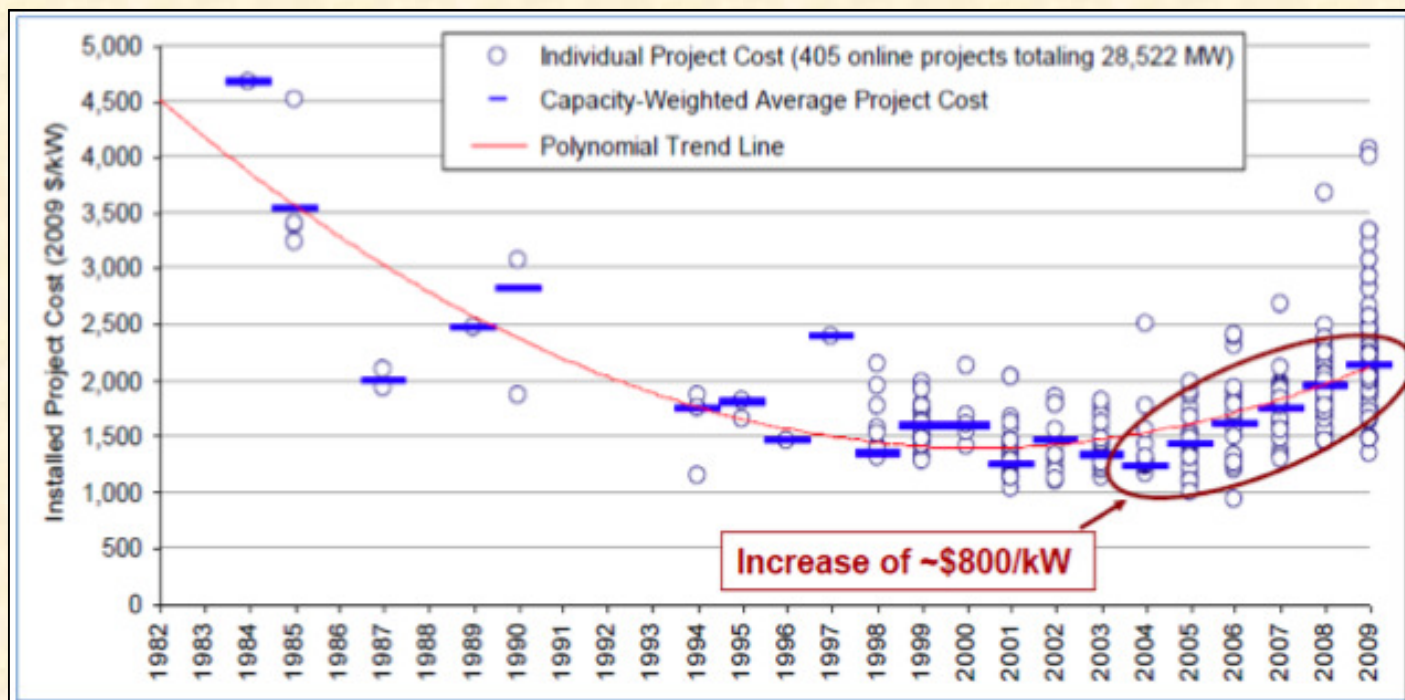


Las renovables tienen un alto contenido de combustibles fósiles para su producción y mantenimiento. En el caso de los biocombustibles es impensable su producción sin los derivados de petróleo y gas. El incremento del precio de los combustibles fósiles implica un incremento de los precios de las renovables, lo que disminuye su competitividad económica.

Los retos de sustituir las energías fósiles

4 – Dependencia de energía fósiles

El precio de la energía eólica ha bajado constantemente desde 1982 hasta mediados de la década pasada pero ha empezado a incrementarse desde 2005, paralelamente con el incremento de los precios del petróleo.

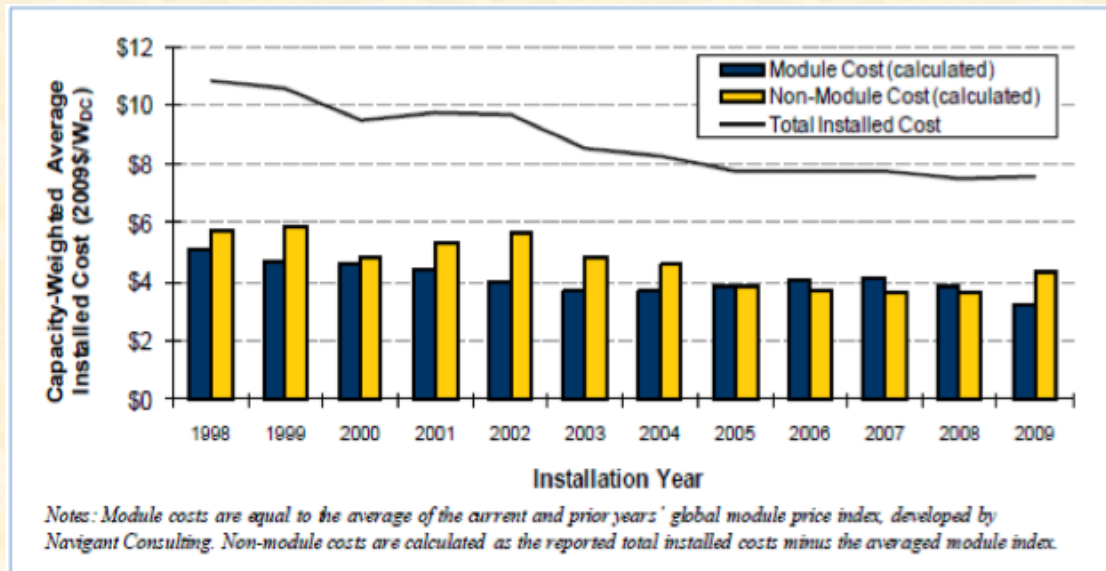


Institute for Integrated Economic Research, 2011

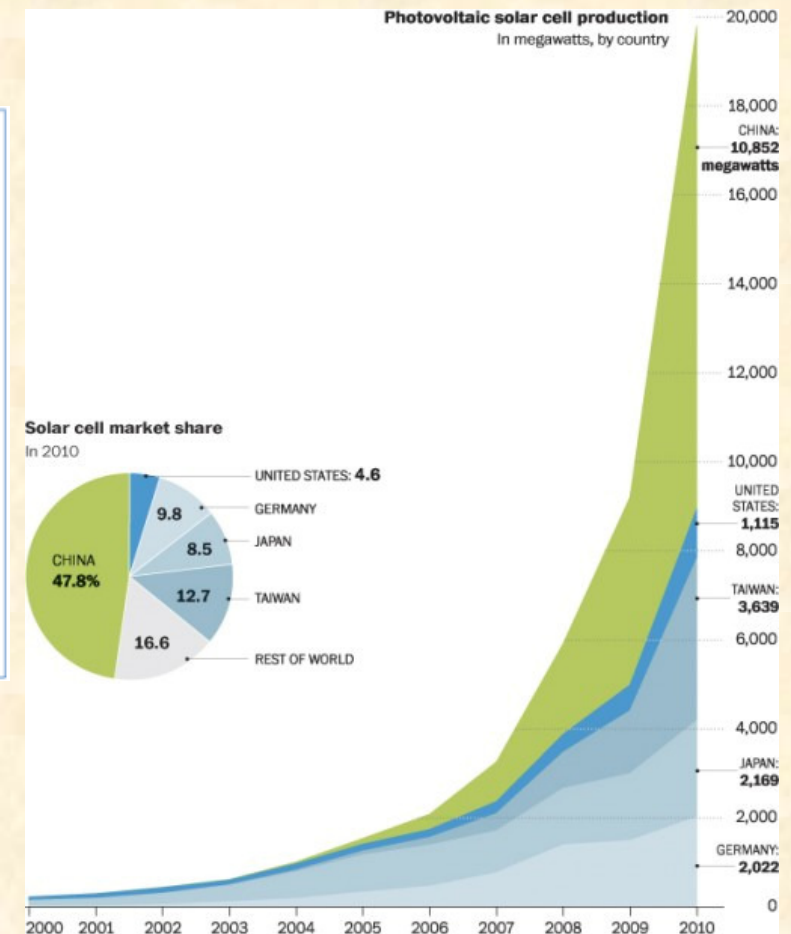
Los retos de sustituir las energías fósiles

5 – Costo de las renovables

En el caso de la energía solar fotovoltaica la disminución de precio se puede correlacionar con el *outsourcing* a China, que produce casi el 50% de los paneles. Además de mano de obra barata China tiene energía barata y sucia que se produce con centrales a carbón.

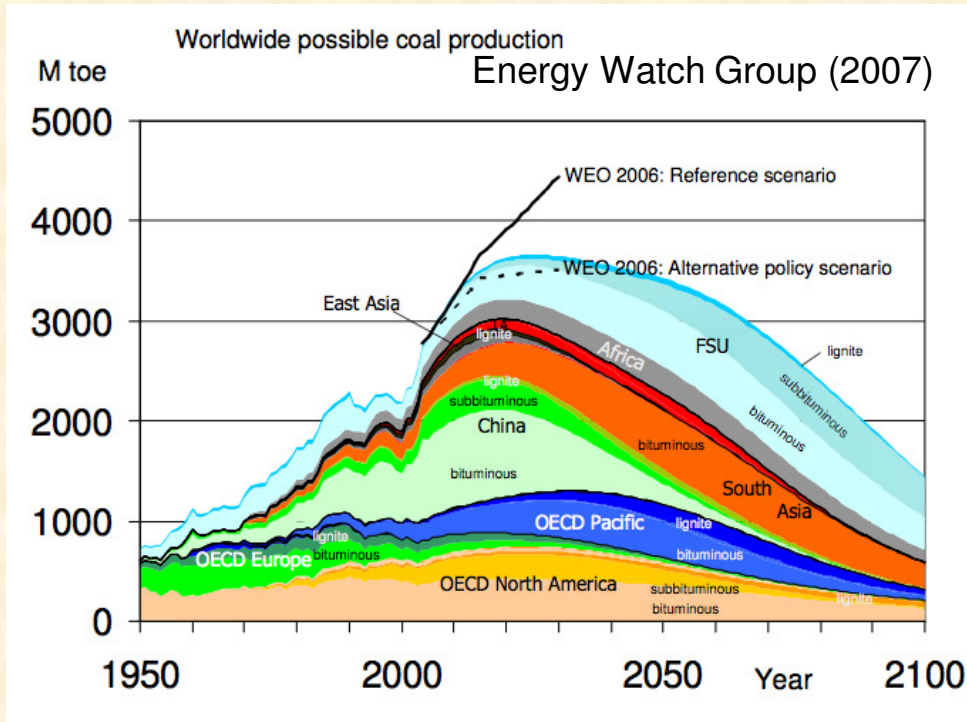


Institute for Integrated Economic Research, 2011



Los retos de sustituir las energías fósiles

5 – Costo de las renovables



China es el mayor productor y consumidor de carbón del mundo y ya está iniciando a importar carbon para incrementar aún mas su producción de energía. Produce el 41% del acero y el 37% del aluminio a pesar de que su economía es el 10% del total mundial.

	Self Sufficiency		GDP\$ Per GJ	Global Share			
	Primary Energy	Food calories		GDP	Iron+Steel Production	Aluminum production	Fertilizer production
United States	71%	119%	141 \$	21.1%	4%	7.6%	6.1%
China	92%	90-95%	95 \$	10.8%	41%	37.5%	32.8%
UK	80%	74%	217 \$	3.1%	0.6%	1.1%	< 0.5%

Energy efficiency of economies (\$/GJ of primary energy consumption) and other key factors

Los retos de sustituir las energías fósiles

6 – Limites tecnológicos, económicos y ecológicos



Contents lists available at ScienceDirect

Energy Policy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/enpol



Communication

Global wind power potential: Physical and technological limits

Carlos de Castro^{a,*}, Margarita Mediavilla^b, Luis Javier Miguel^b, Fernando Frechoso^c

^a Applied Physics, Campus Miguel Delibes, University of Valladolid, 47011 Valladolid, Spain

^b Systems Engineering and Automatic Control, Paseo del Cauce s/n, University of Valladolid, 47011 Valladolid, Spain

^c Electric Engineering, Francisco Mendizabal s/n, University of Valladolid, Spain

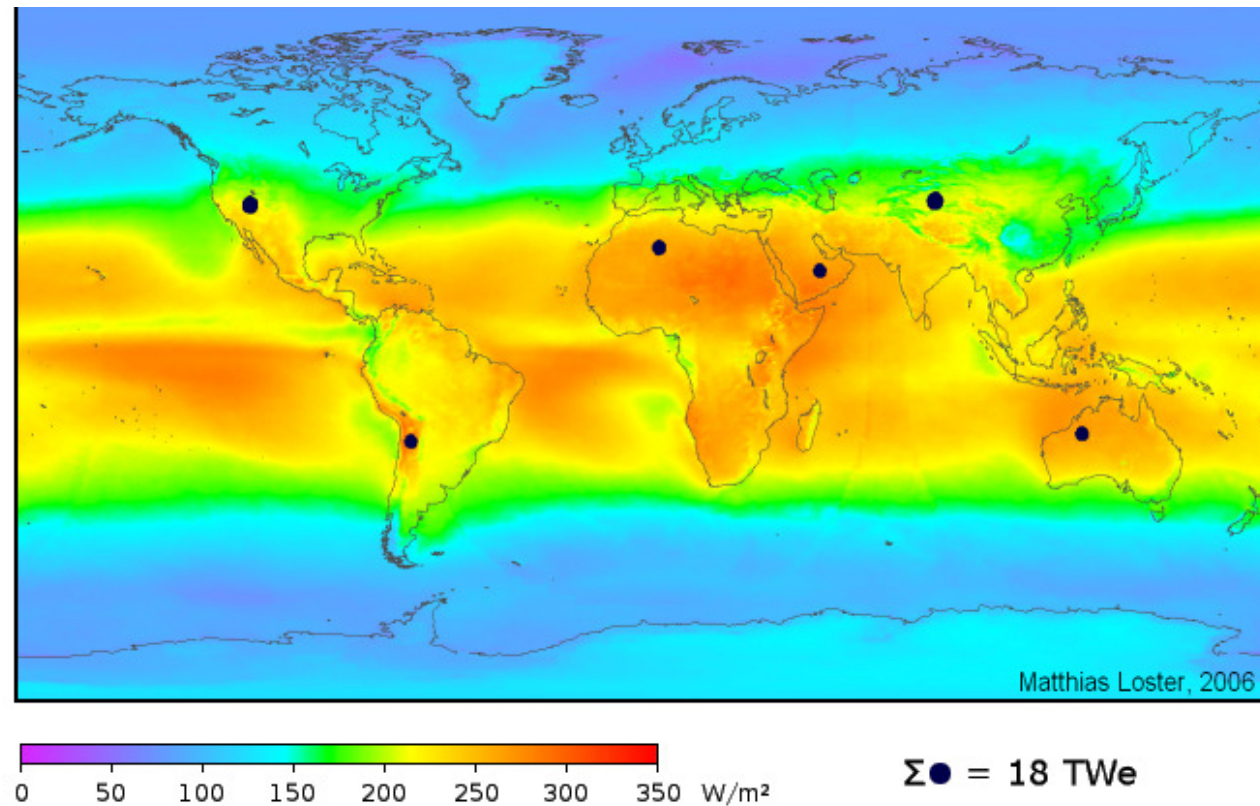
A top–down approach evaluation of physical–geographical potential and global technological wind power potential, while acknowledging energy conservation. The results give roughly 1 TW for the top limit of the future electrical potential of wind energy. Since the present exergy consumption of all energies is ~17 TW, it implies that **no more than 6% of today's primary energy can be obtained from the wind**

Ferrari, CIE, UNAM - 16-3-2012

Los retos de sustituir las energías fósiles

6 – Limites tecnológicos, económicos y ecológicos

Áreas necesaria para producir 18 TWe (50 % mas de la necesidad de 2010) usando sistemas PV con una eficiencias del 8% (punto negros) (WikiMedia)



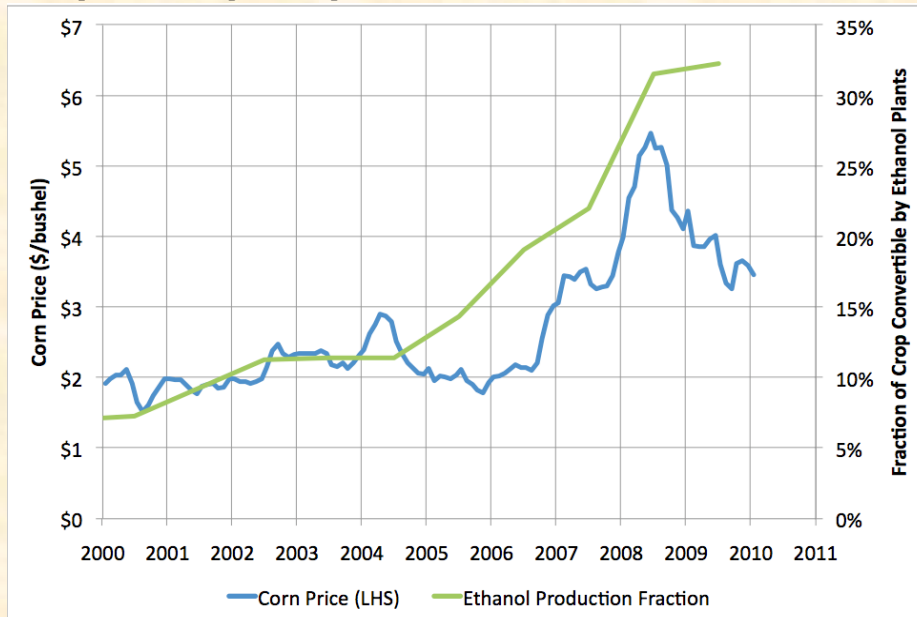
Estas áreas representan mas que toda el área pavimentadas del mundo, una inversión monumental y una infraestructura que necesitó muchas décadas para construirse. Además se trata de asfalto y concreto no de semiconductores de alta tecnología.

Los retos de sustituir las energías fósiles

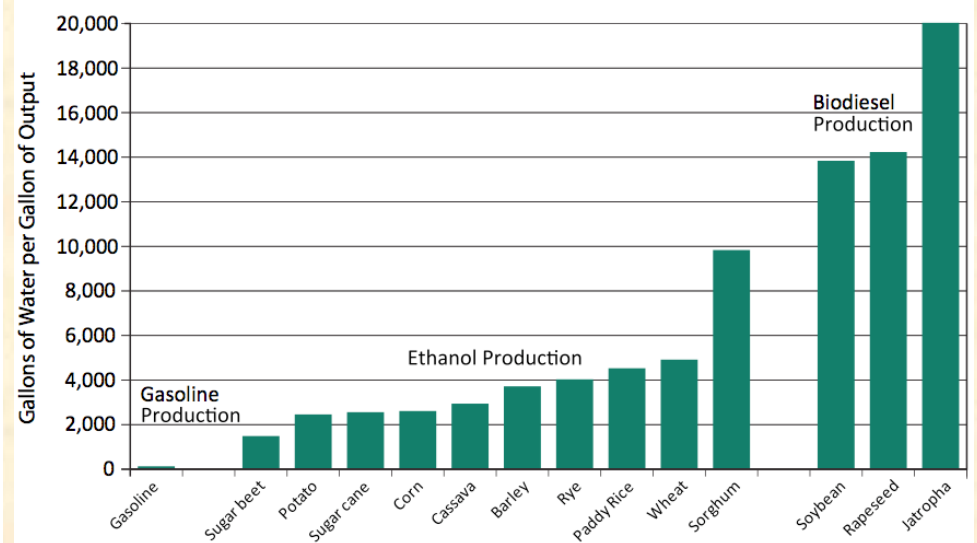
6 – Limites tecnológicos, económicos y ecológicos

Competición por tierra y agua

Precio del maíz y cantidad de tierra requerida para producción de etanol del maíz



Cantidad de agua requerida para la producción de biocombustibles



Hasta ahora la producción de biocombustibles procede casi totalmente de alimentos (maíz y caña) o de plantas que compiten por la misma tierra de producción de alimentos

La producción de biocombustibles requiere grandes cantidad de agua, un recurso que también escasea. Las termosolares requieren también mucha agua, del orden de ~8 lt/Kw/hr

El problema del incremento de la demanda

Chart 17: OPEC Oil Consumption January 2004 - May 2010

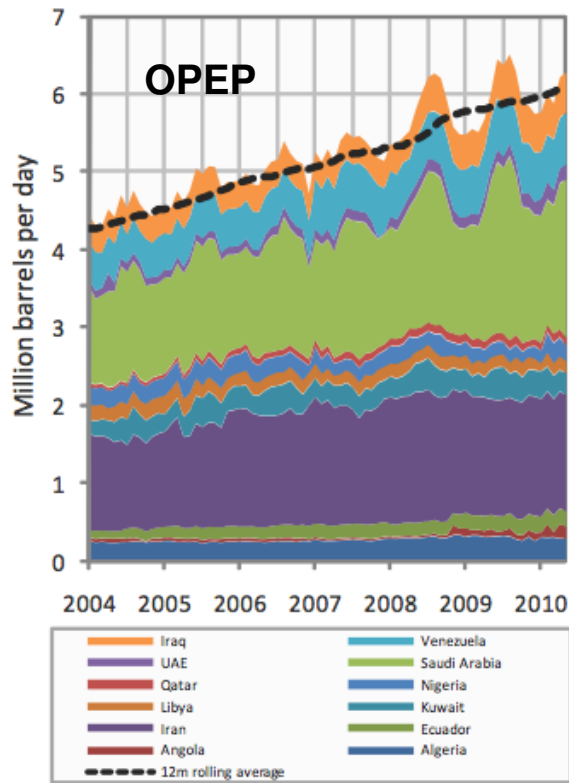


Chart 36: India Oil Consumption Jan. 2004 - May 2010

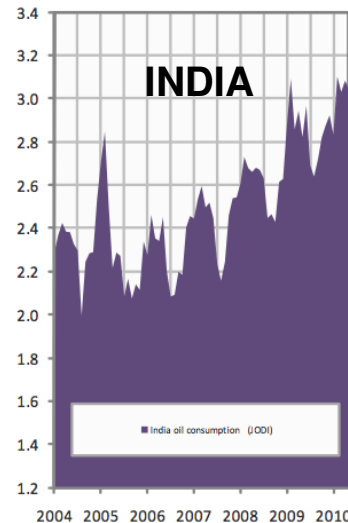


Chart 35: China Oil Consumption January 2004 - May 2010

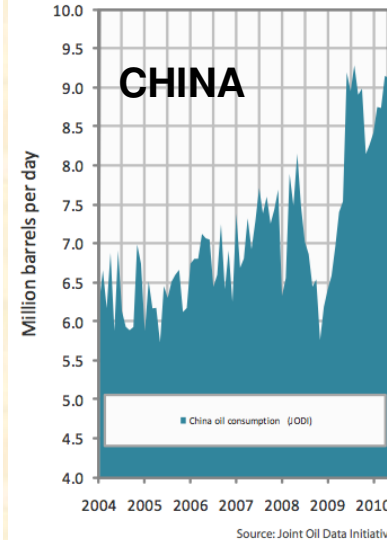
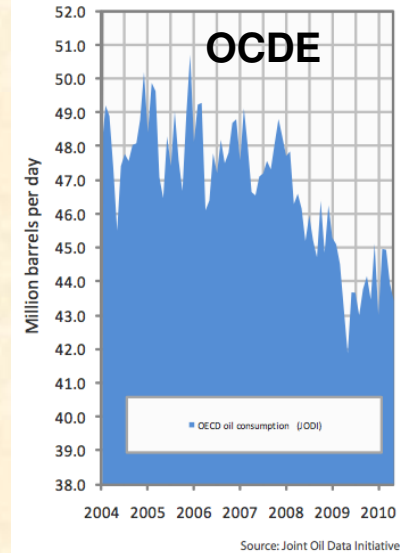


Chart 20: OECD Oil Consumption January 2004 - May 2010

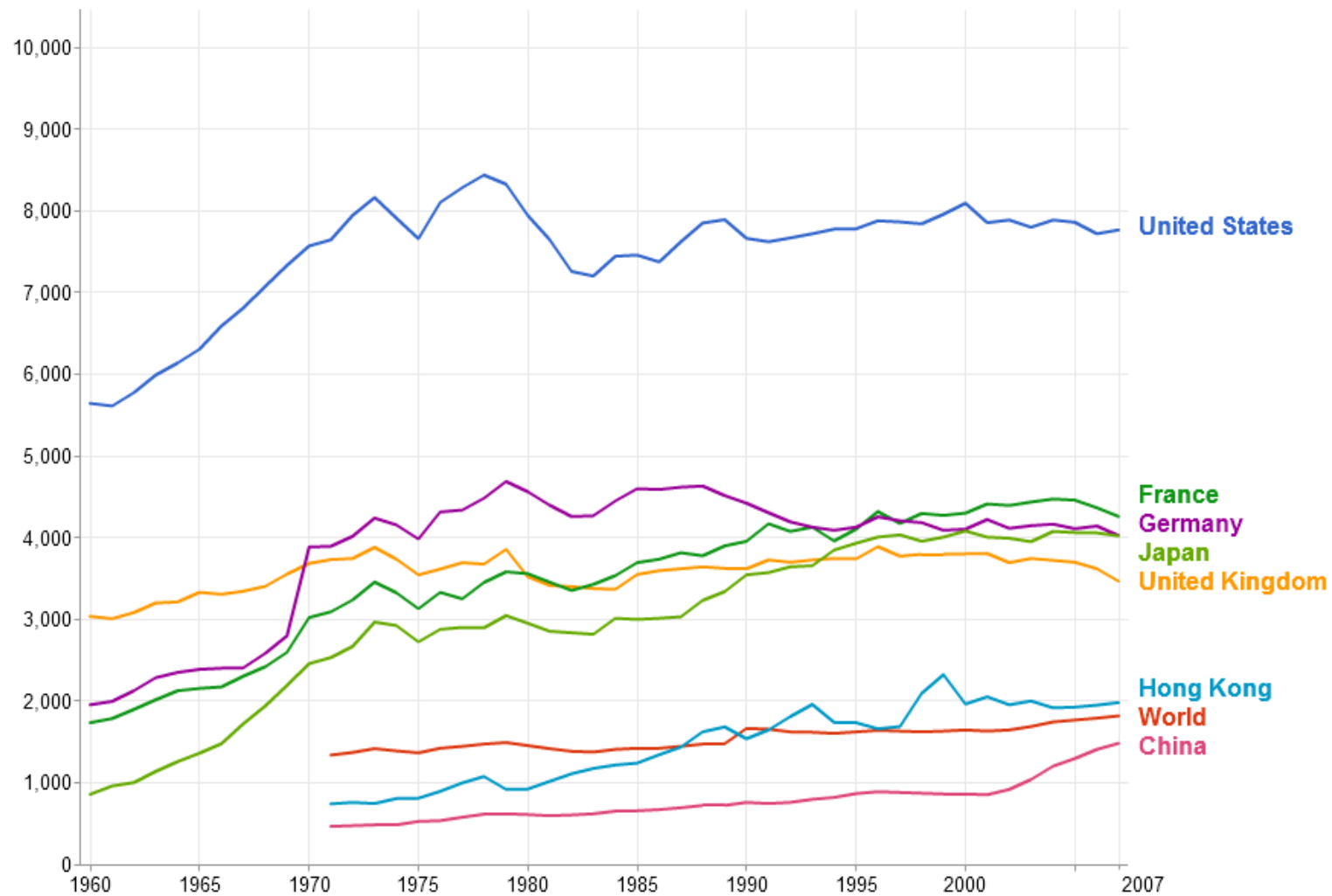


Aunque los países mas desarrollados están disminuyendo el consumo de petróleo los países productores y las economías emergentes de Asia siguen incrementado su consumo (en parte por el crecimiento económico y en parte por el *outsourcing* de la industria pesada de los países occidentales).

Demanda percapita

Energy use per capita

Primary energy use (before transformation to other end-use fuels) in kilograms of oil equivalent, per capita. [More info »](#)



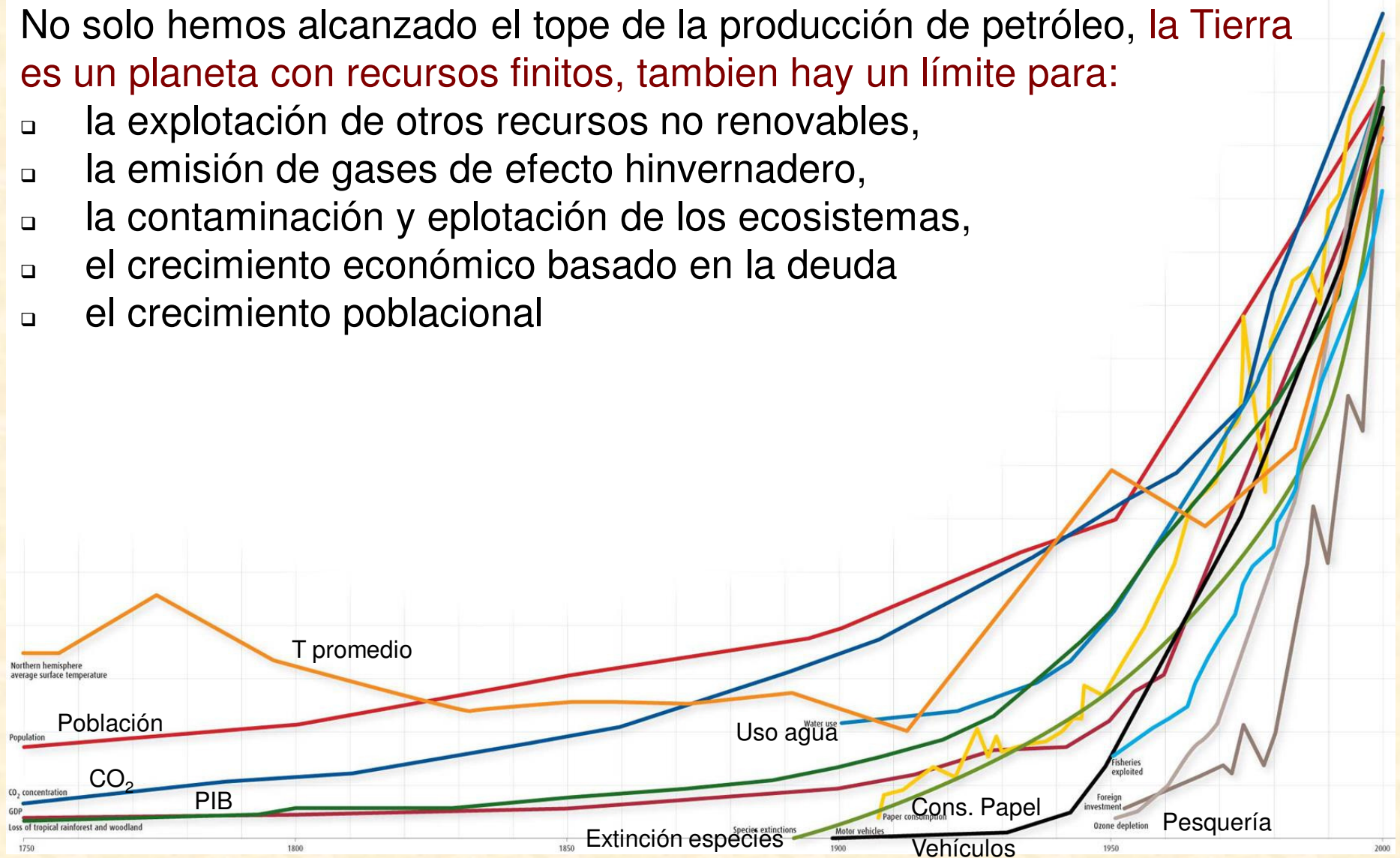
Data source: [World Bank, World Development Indicators](#) - Last updated May 7, 2010

Ferrari, CIE, UNAM - 16-3-2012

Los límites biofísicos de la economía

No solo hemos alcanzado el tope de la producción de petróleo, **la Tierra es un planeta con recursos finitos, también hay un límite para:**

- ❑ la explotación de otros recursos no renovables,
- ❑ la emisión de gases de efecto invernadero,
- ❑ la contaminación y explotación de los ecosistemas,
- ❑ el crecimiento económico basado en la deuda
- ❑ el crecimiento poblacional

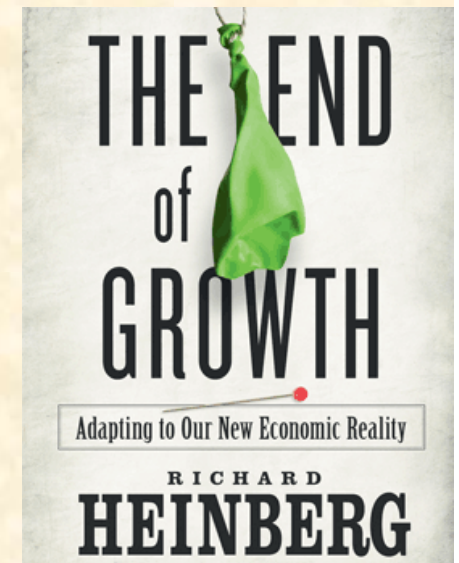


Implicaciones del declive petrolero

La energía barata ha dado pie al consumismo y el derroche

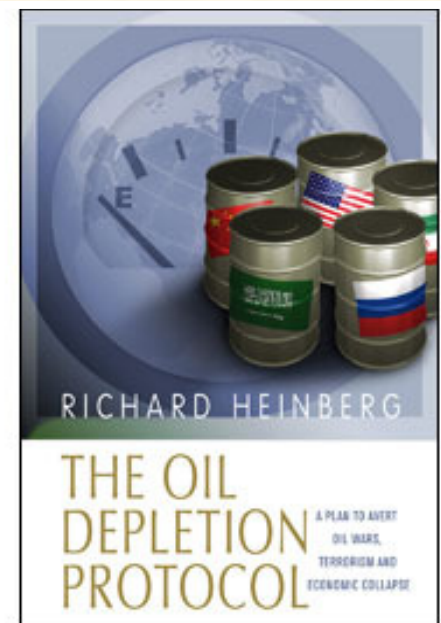
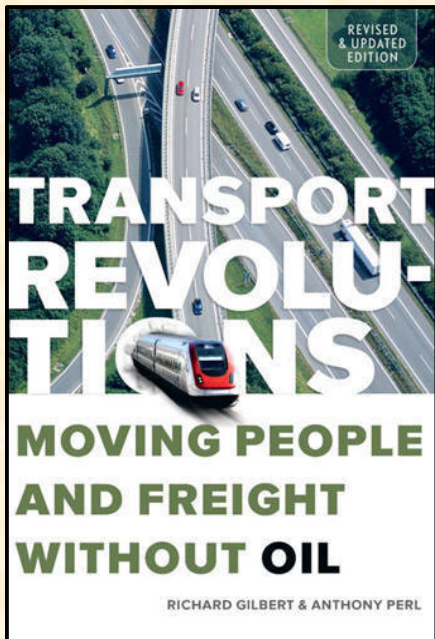


- ❑ Un modelo completamente insostenible a nivel global
- ❑ El crecimiento infinito es imposible en un planeta finito
- ❑ La disminución de la EROI y el incremento de población imponen una inversión de tendencia



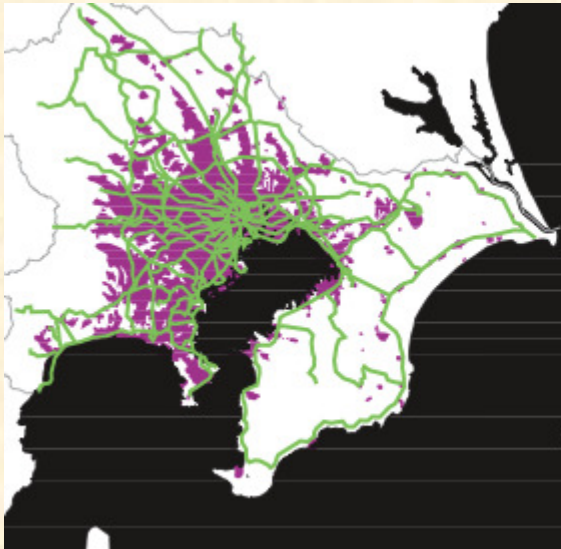
La transición a una sociedad post-petrolera pasa por una reducción de los consumos energéticos

- ❑ Ahorro/eficiencia energética
- ❑ Desincentivar el uso del coche
- ❑ Transportación eléctrica independiente del petróleo: transporte publico electrificado
- ❑ Economía regional (des-globalización)

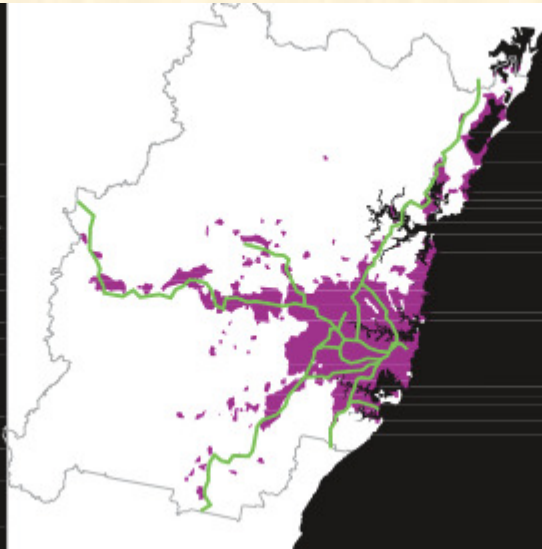


Transporte publico y consumo energetico

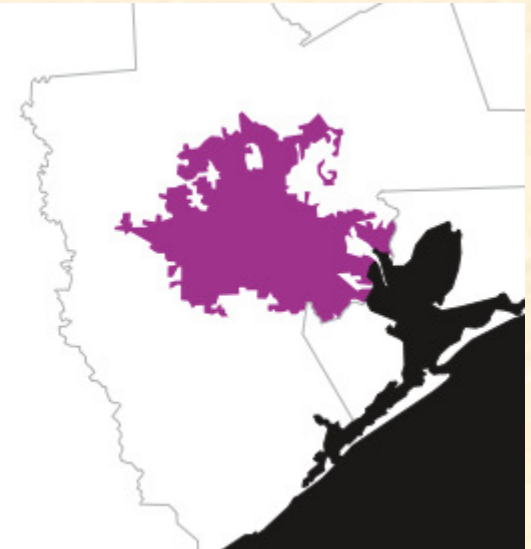
Tokyo



Sydney



Houston



Km recorridos
anualmente por
trabajador

3,795

7,051

14,117

Uso transporte publico

70.6%

30.7%

6.7%

Consumo energia
anual por pasajero

8,015 MJ

29,491 MJ

63,800 MJ

Rediseñar las ciudades

- ☐ Disminuir el tiempo de traslado casa-trabajo
- ☐ Favorecer el uso de la bicicleta y la movilidad peatonal
- ☐ Crear barrios que integren todos los servicios

¿Quien dijo que no se puede?

Cheonggyecheon (Seoul) antes y después de su restauración

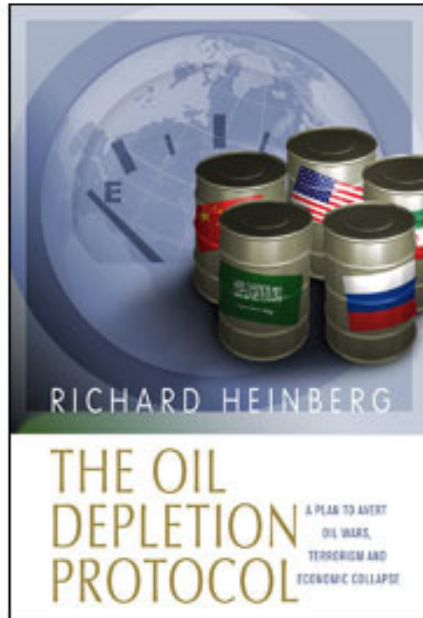


Incorporación de las energías renovables y el ahorro energético en el diseño de los edificios

- ☐ Energía termosolar para calentamiento de agua
- ☐ Incorporación de paneles solares para producción de electricidad
- ☐ Biodigestores para producción de biogas
- ☐ Reciclaje de aguas grises
- ☐ Azoteas verdes

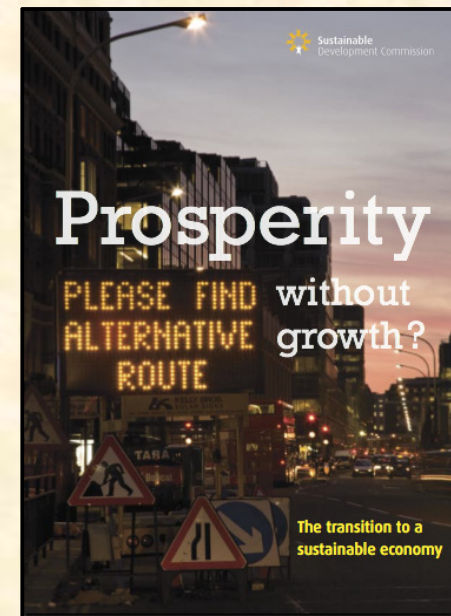


Cambio de estilo de vida y de filosofía



- De-crecimiento hacia un nivel de consumo sustentable y una mejor distribución de los recursos a nivel global

- El crecimiento económico en % del PIB no es necesariamente un indicador de la prosperidad



La felicidad no es solo mas consumo

Figure 6 Happiness and average annual income¹⁵

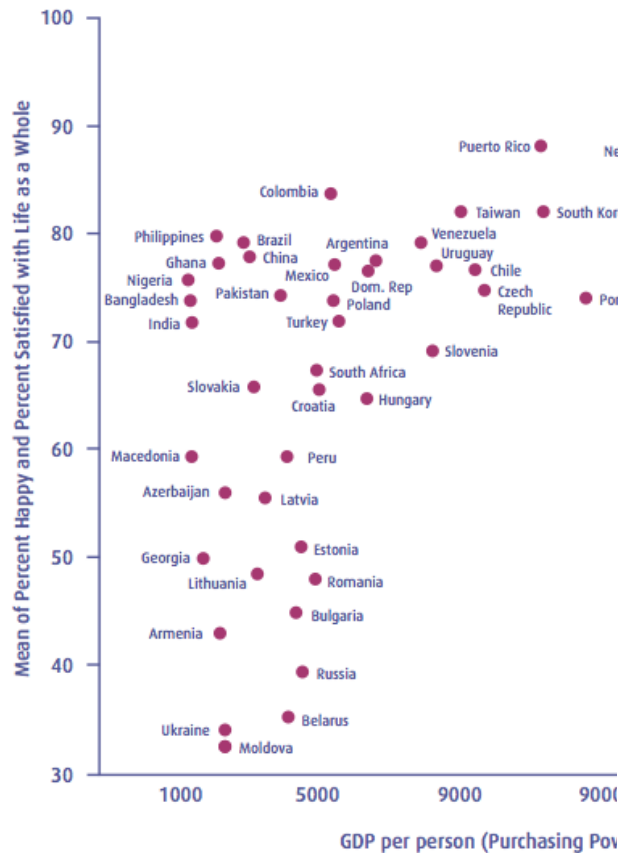
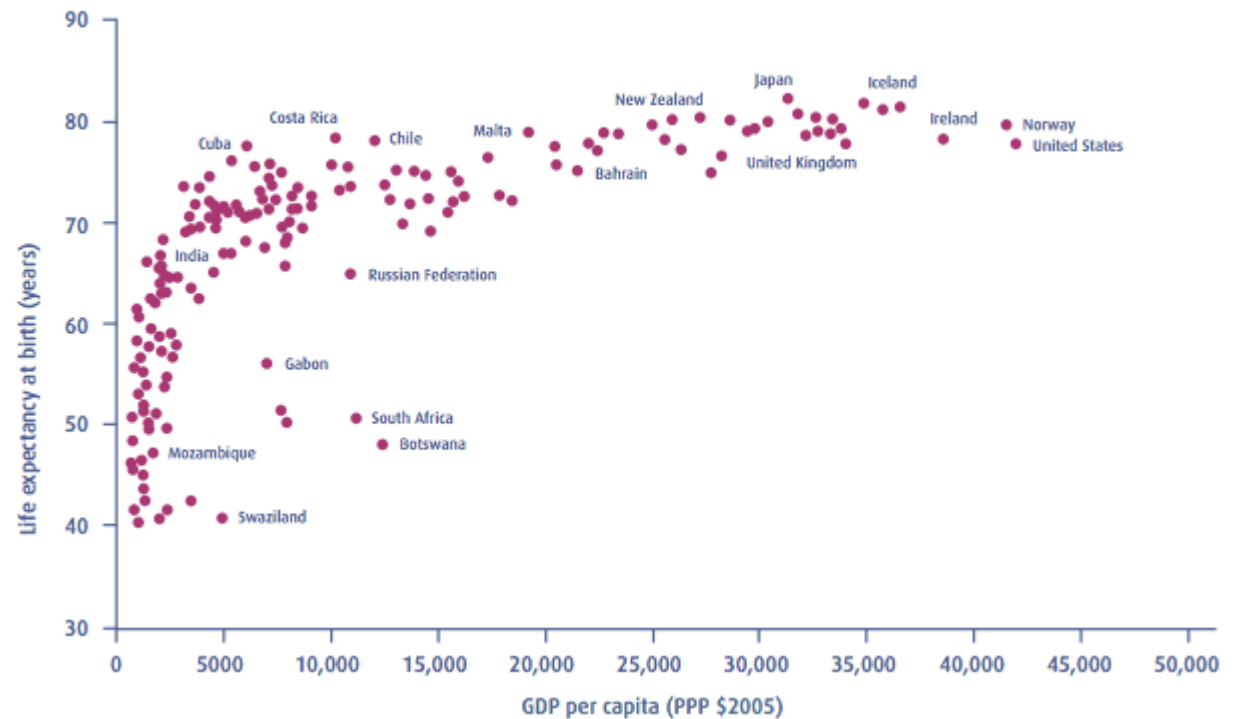


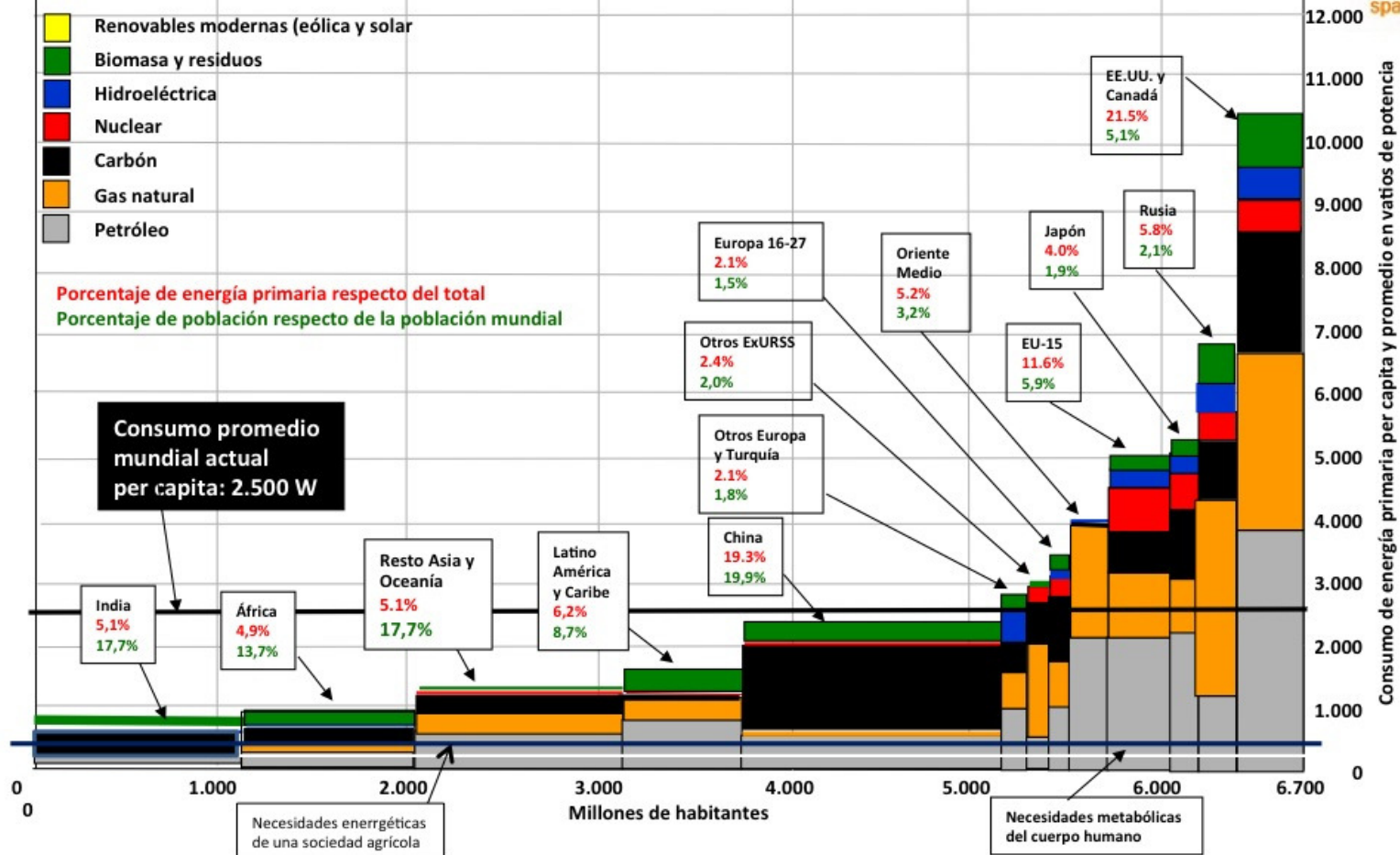
Figure 8 Life expectancy at birth vs average annual income¹⁶



Quien tiene de reducir mas los consumos



DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA, POR TIPOS, POR PERSONA EN PROMEDIO Y POR REGIONES RESPECTO DE LA POBLACIÓN MUNDIAL



Fuente: AEREN.

Energía fósil y equivalencias según Statistical Yearbook de BP 2010

Biomasa según WEO 2010 de la AIE

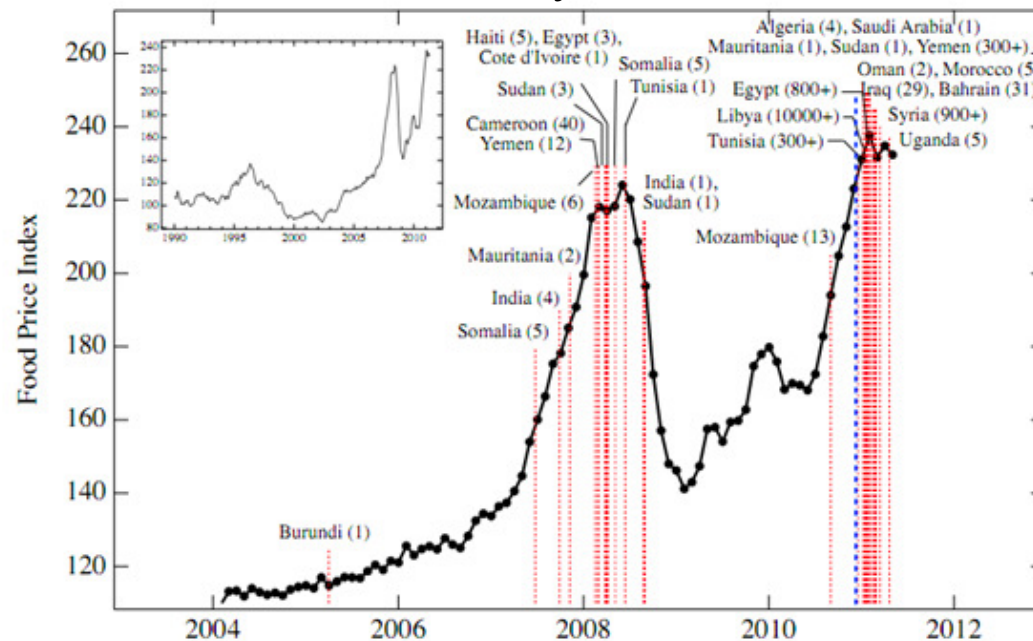
Población en 2010 según Wikipedia

Ferrari, CIE, UNAM - 16-3-2012

Reducción de consumos no necesarios, redistribución o... guerras por los recursos



Precio alimentos y disturbios sociales

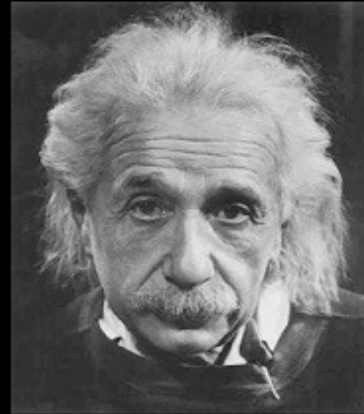


Algunas conclusiones

- La era de la energía barata y abundante se acabó: hemos entrado en la era del declive y de la energía cara
- El cénit de la producción petrolera y los nuevos costos de la energía son las causas principales de la crisis económica.
- Hay que invertir masivamente en fuentes renovables para la transición energética hacia una economía post-petrolera. Sin embargo esto presenta retos monumentales por la menor intensidad energética e intermitencia de las renovables
- Es imposible sostener el ritmo de consumo actual. Se necesita un de-crecimiento hacia un nivel sustentable por las fuentes renovables.
- Se necesitan nuevas políticas globales para una mejor distribución de la energía y evitar guerras por los recursos

**“We can't solve problems by
using the same kind of
thinking we used when we
created them.”**

Albert Einstein



O...

