

**Agotamiento  
del  
petroleo  
y  
crisis energética**

**¿Por qué el petróleo es tan importante?**



**Vivimos en la era del petróleo**

# **¿Por qué el petróleo es tan importante?**

**Por que está en todo, en cualquier lugar, y siempre  
(¿como Dios?)**

**Lo usamos para la agricultura, transporte, materiales...**

**y no nos olvidemos que también para...**

**la construcción de plantas solares, parques eólicos, etc**



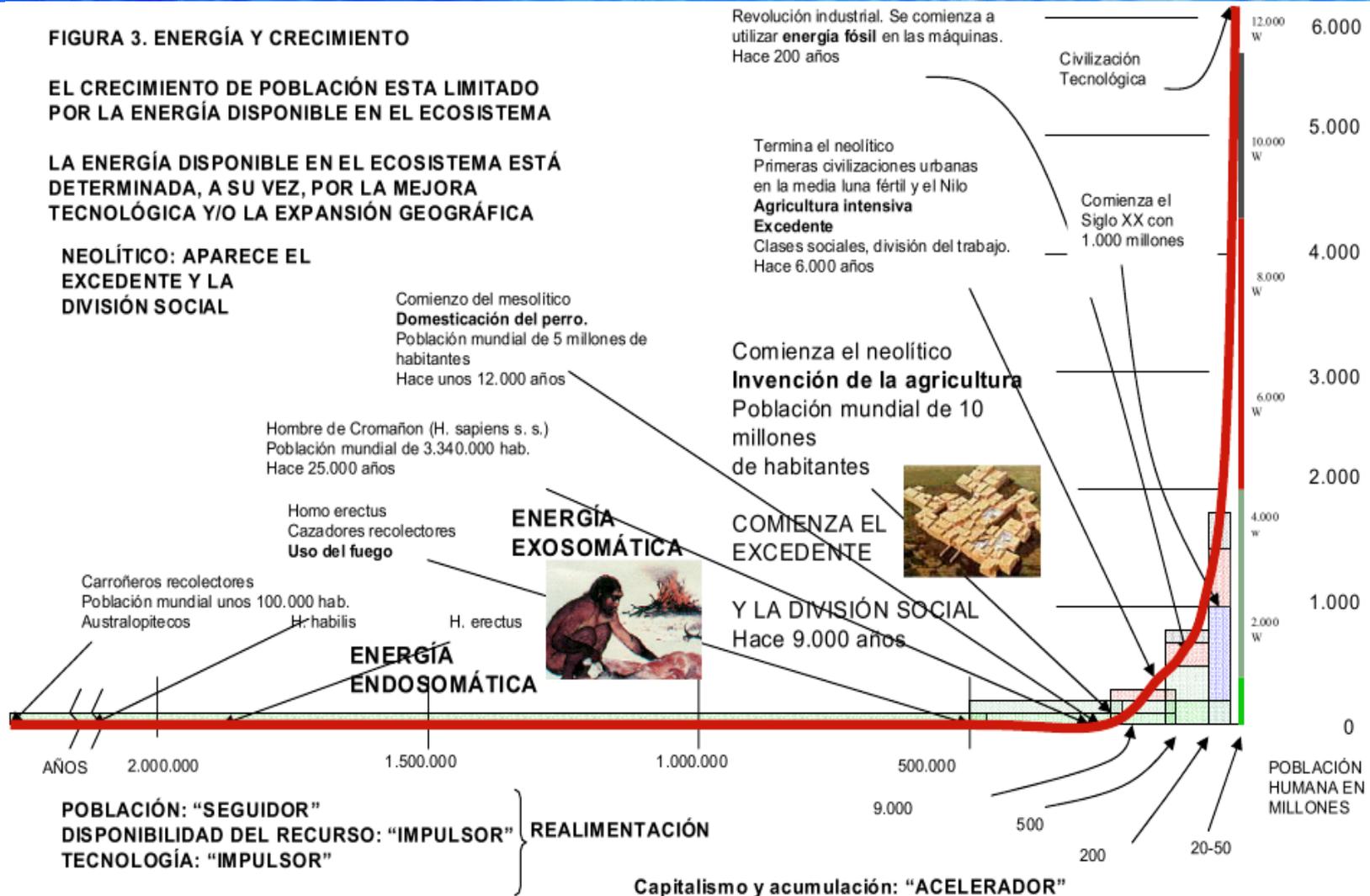
# Energía y población

FIGURA 3. ENERGÍA Y CRECIMIENTO

EL CRECIMIENTO DE POBLACIÓN ESTA LIMITADO POR LA ENERGÍA DISPONIBLE EN EL ECOSISTEMA

LA ENERGÍA DISPONIBLE EN EL ECOSISTEMA ESTÁ DETERMINADA, A SU VEZ, POR LA MEJORA TECNOLÓGICA Y/O LA EXPANSIÓN GEOGRÁFICA

NEOLÍTICO: APARECE EL EXCEDENTE Y LA DIVISIÓN SOCIAL

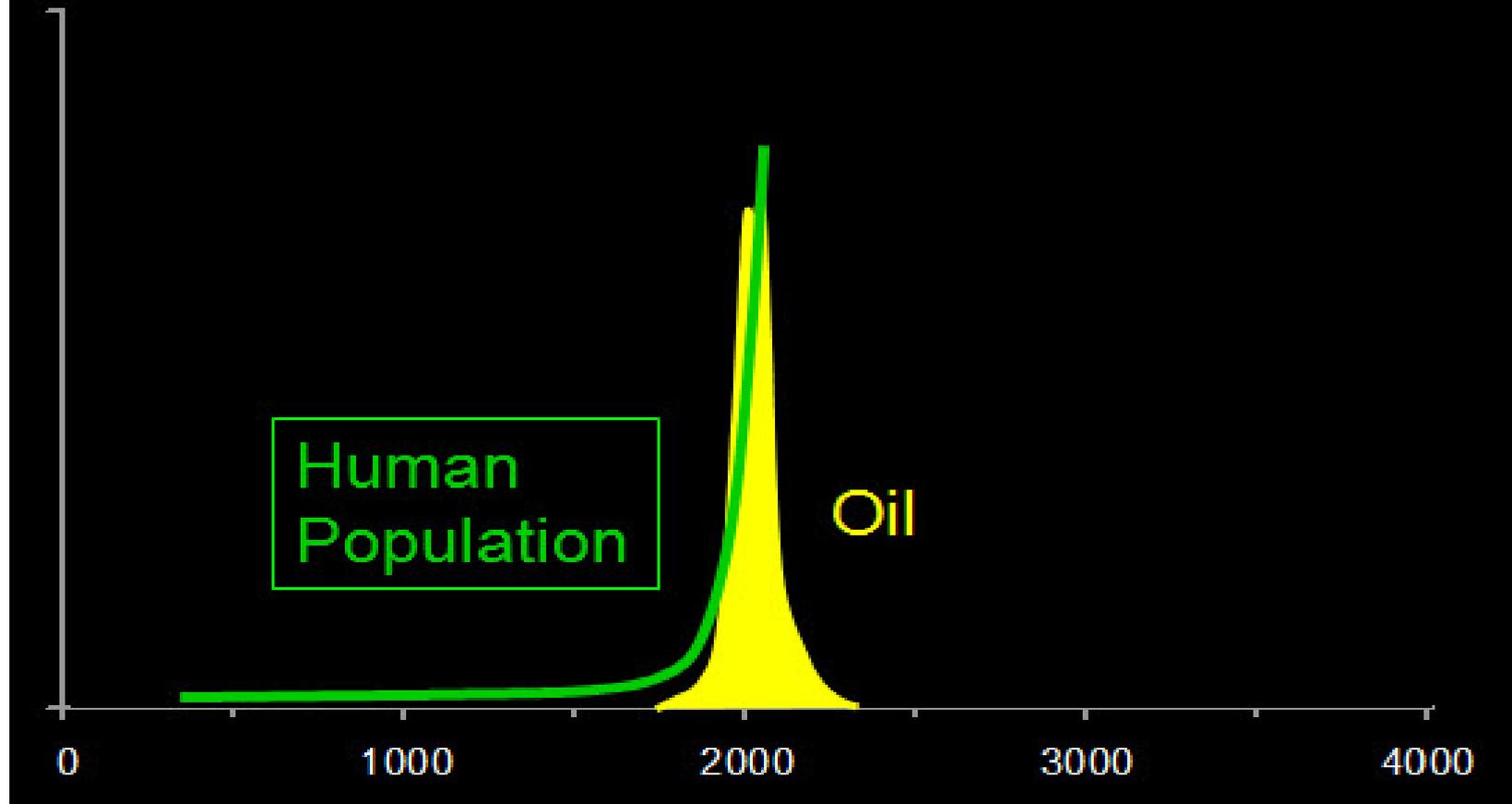


Fuente: Fernando Ballenilla. El final del petróleo y Pedro Prieto

¿Por qué es tan importante el petróleo? Existe una correlación entre el aumento de la población sobre la Tierra y la explotación del petróleo

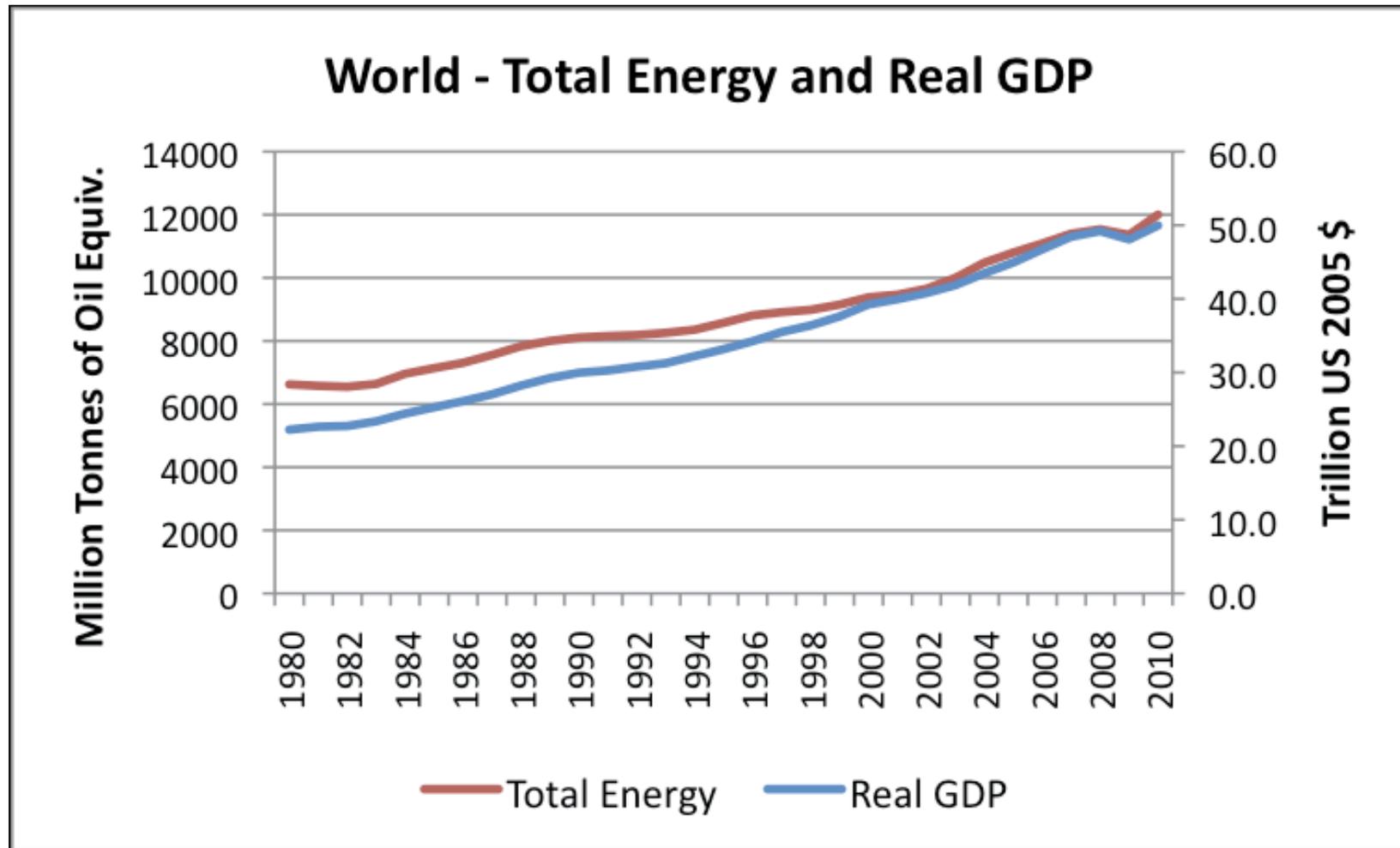
## Energía y población

### A Brief History of Oil & Humans



¿Por qué es tan importante el petróleo? Existe una correlación entre el aumento de la población sobre la Tierra y la explotación del petróleo

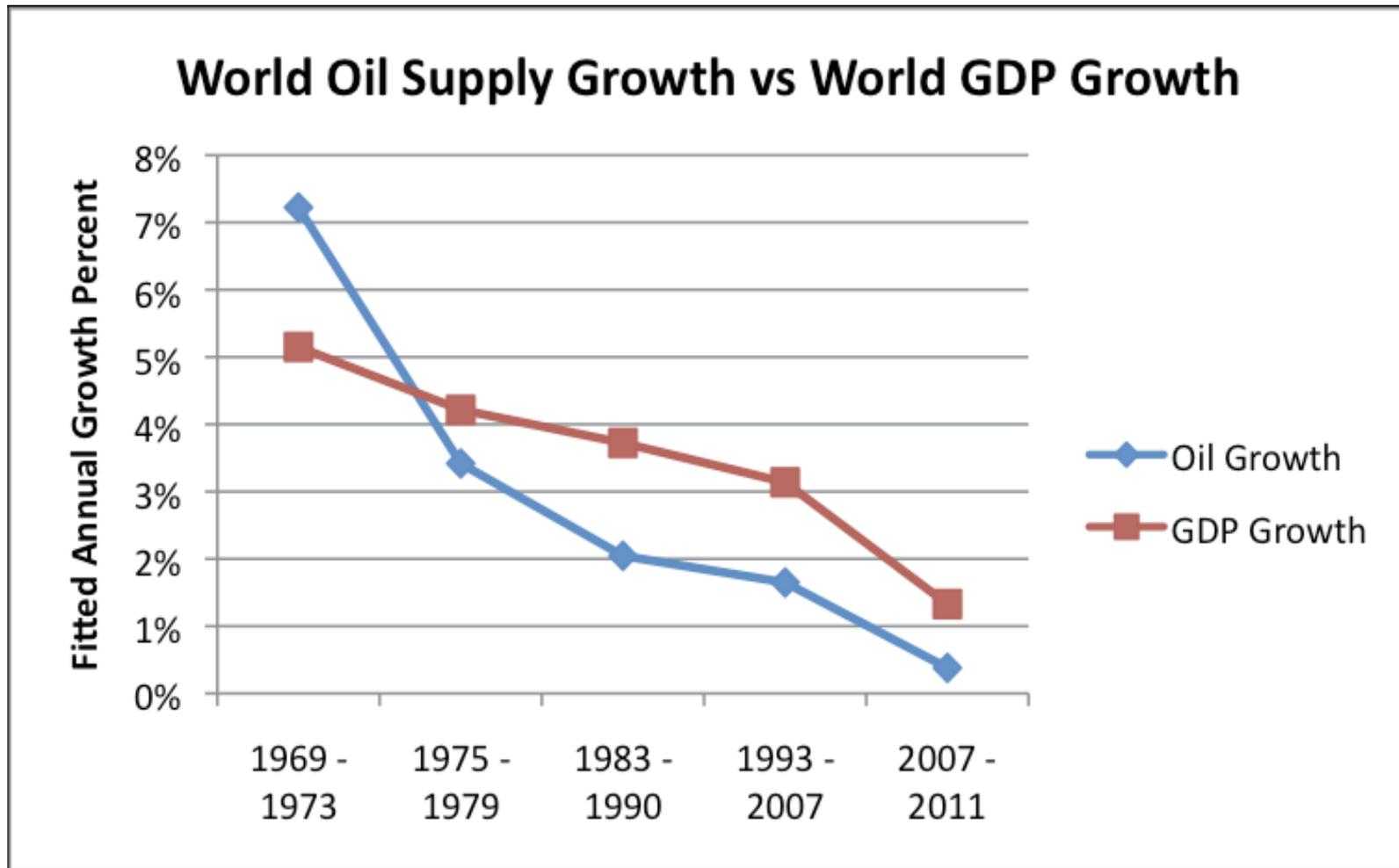
# Energía y PIB



Fuente: <http://ourfiniteworld.com> . Is it really possible to decouple GDP Growth from Energy Growth?

**Existe una correlación entre el consumo energético global y el crecimiento del PIB a nivel mundial.**

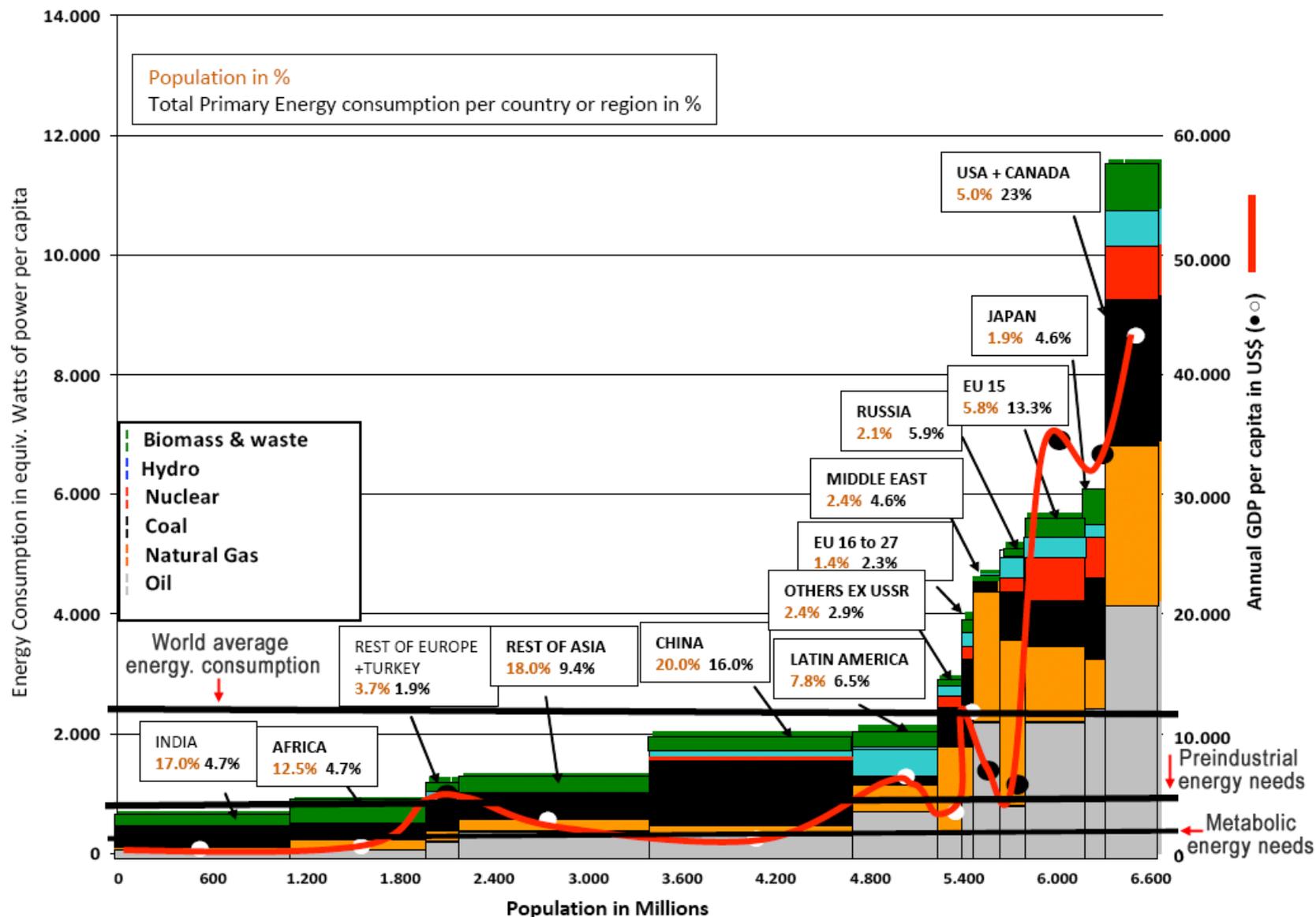
# Energía y PIB



Fuente: <http://ourfiniteworld.com> . Evidence that Oil Limits are Leading to Declining Economic Growth

**Existe una correlación entre el consumo energético global y el crecimiento del PIB a nivel mundial.**

# Energía y PIB



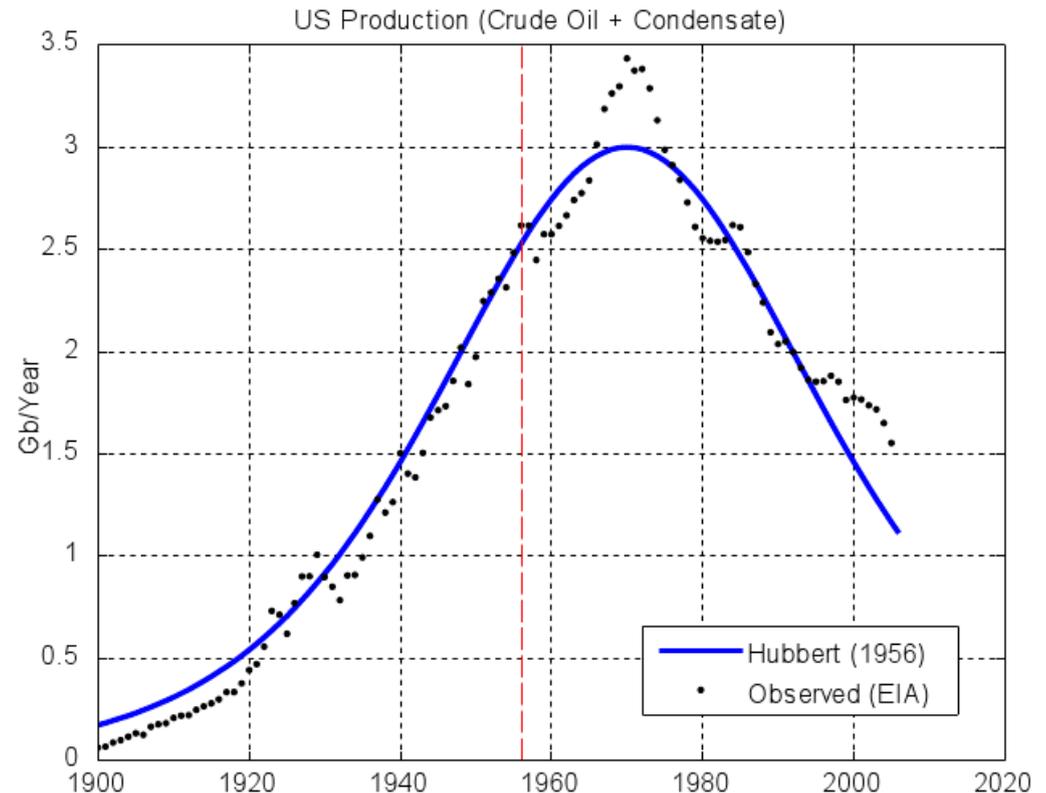
Fuente: Crisis Energética

# Pico del Petróleo

En los años 50 del siglo pasado, el científico estadounidense M. King Hubbert demostró que la evolución que experimenta la explotación de cualquier pozo petrolífero sigue una curva en forma de campana, llamada por ello “curva de Hubbert”.

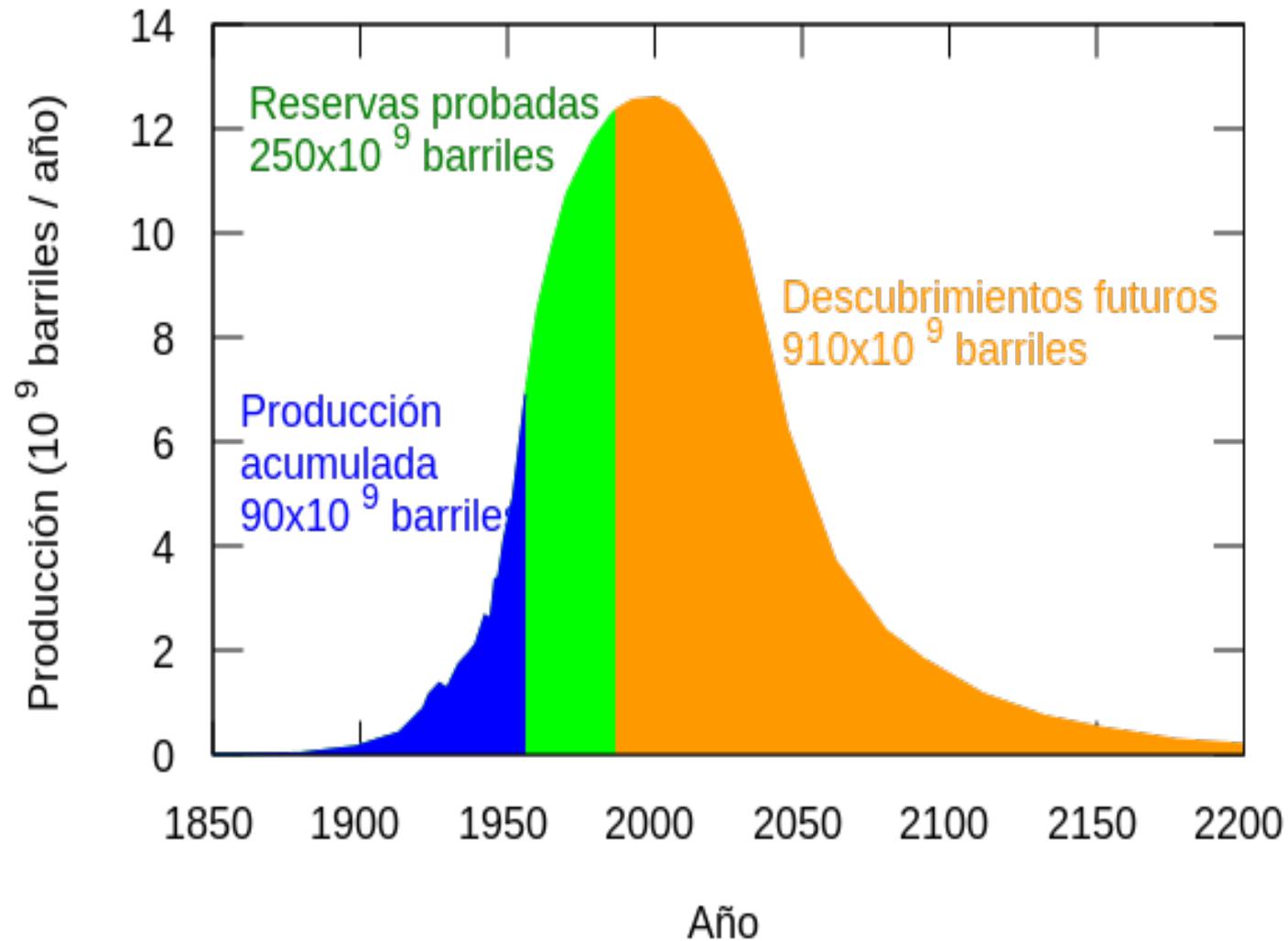
En el tramo ascendente de la curva De Hubbert (antes de llegar al máximo), el petróleo es abundante, de buena calidad y fácil de extraer, pero en el tramo descendente cada vez es más escaso, costoso de extraer, de peor calidad y de menor pureza

Gráfico realizado por Samuel Foucher



Producción de petróleo en EE.UU. y la estimación de Hubbert, quien predijo correctamente el pico de la producción estadounidense con quince años de antelación.

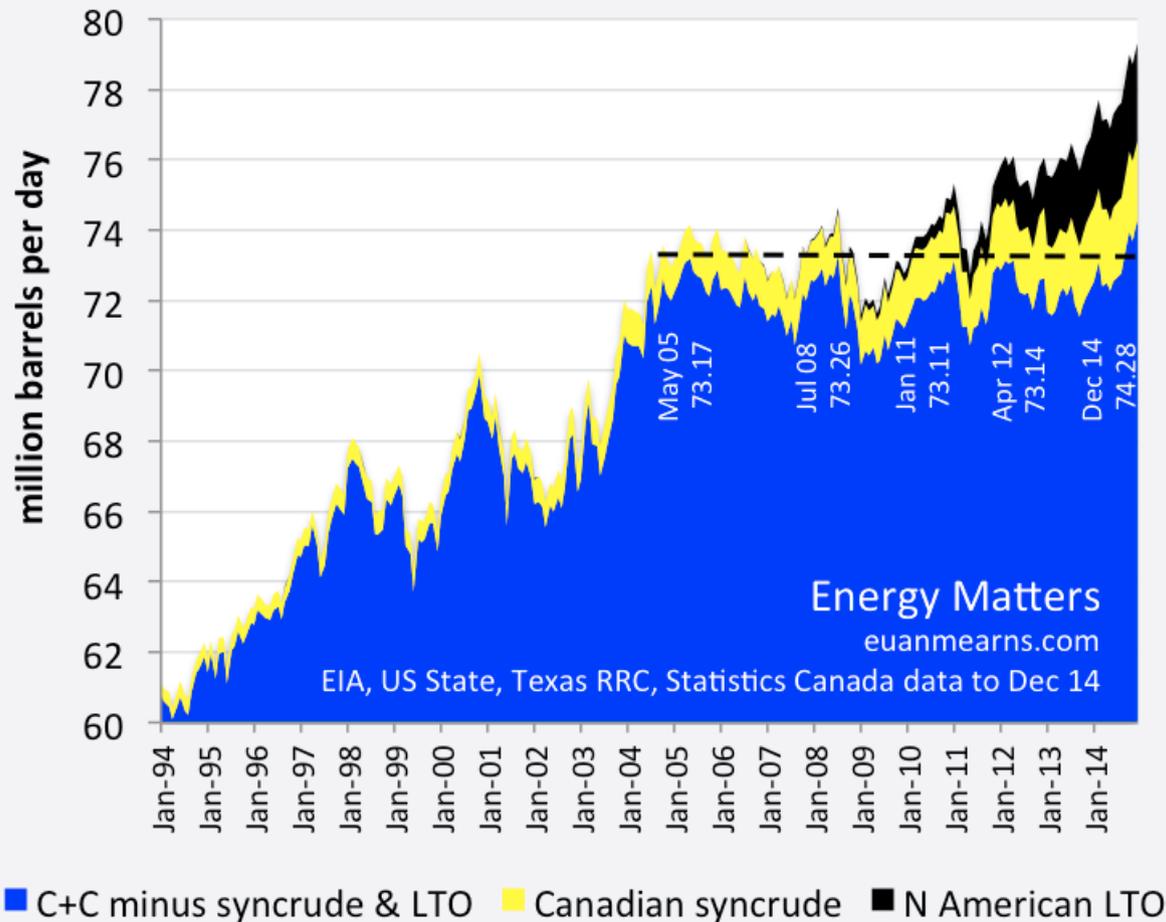
# Pico del Petróleo



La curva de producción del petróleo a nivel mundial, como sugirió originalmente M. King Hubbert en 1956, con su pico en torno al 2000.

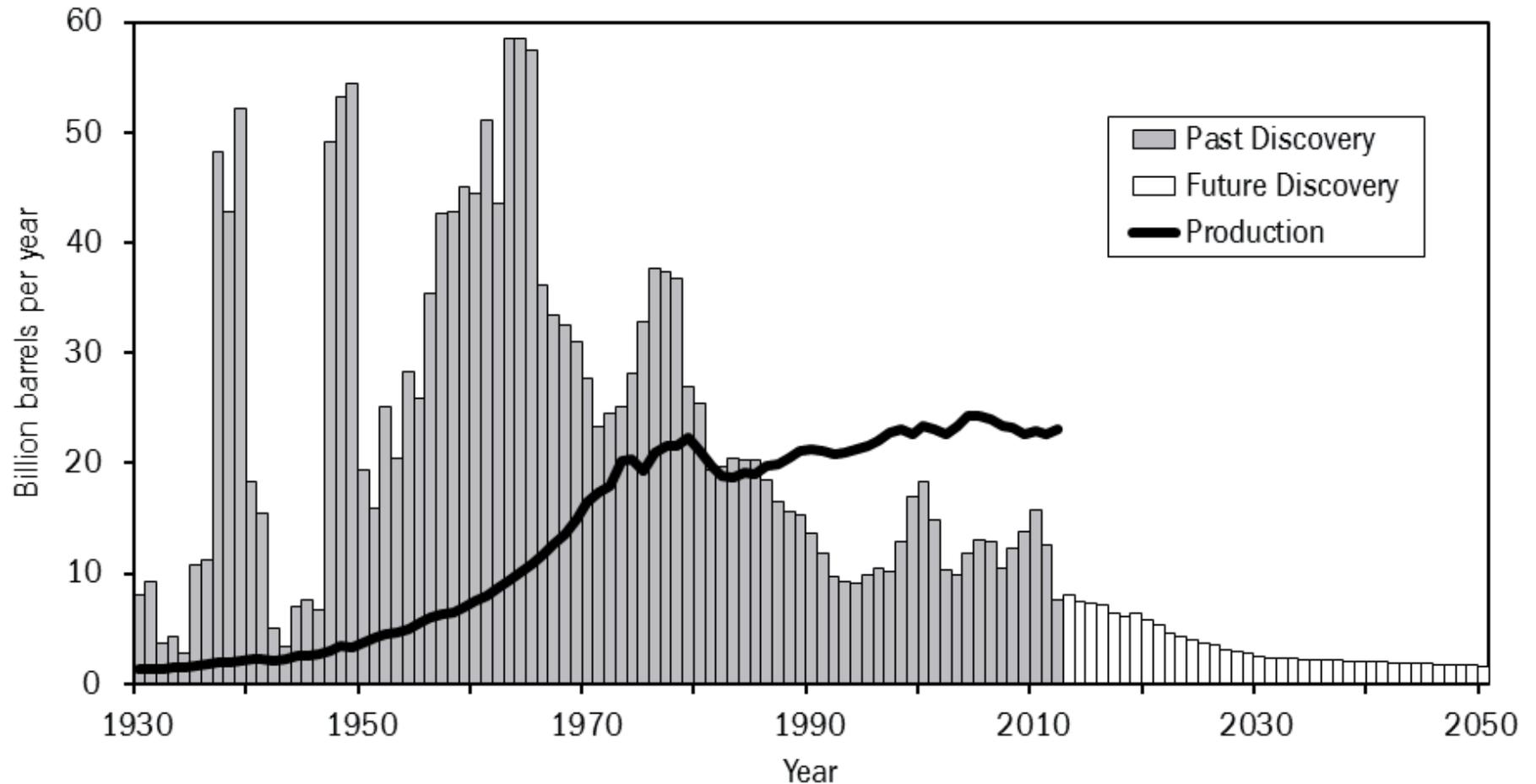
# Pico del Petróleo

## Global crude+condensate production



Entre 2004 y 2014, la producción total de petróleo crudo más condensados se ha movido entorno una banda del 5%. La Agencia Internacional de la Energía (AIE) hizo público en noviembre de 2010 que la producción de petróleo crudo llegó a su pico máximo en 2006.

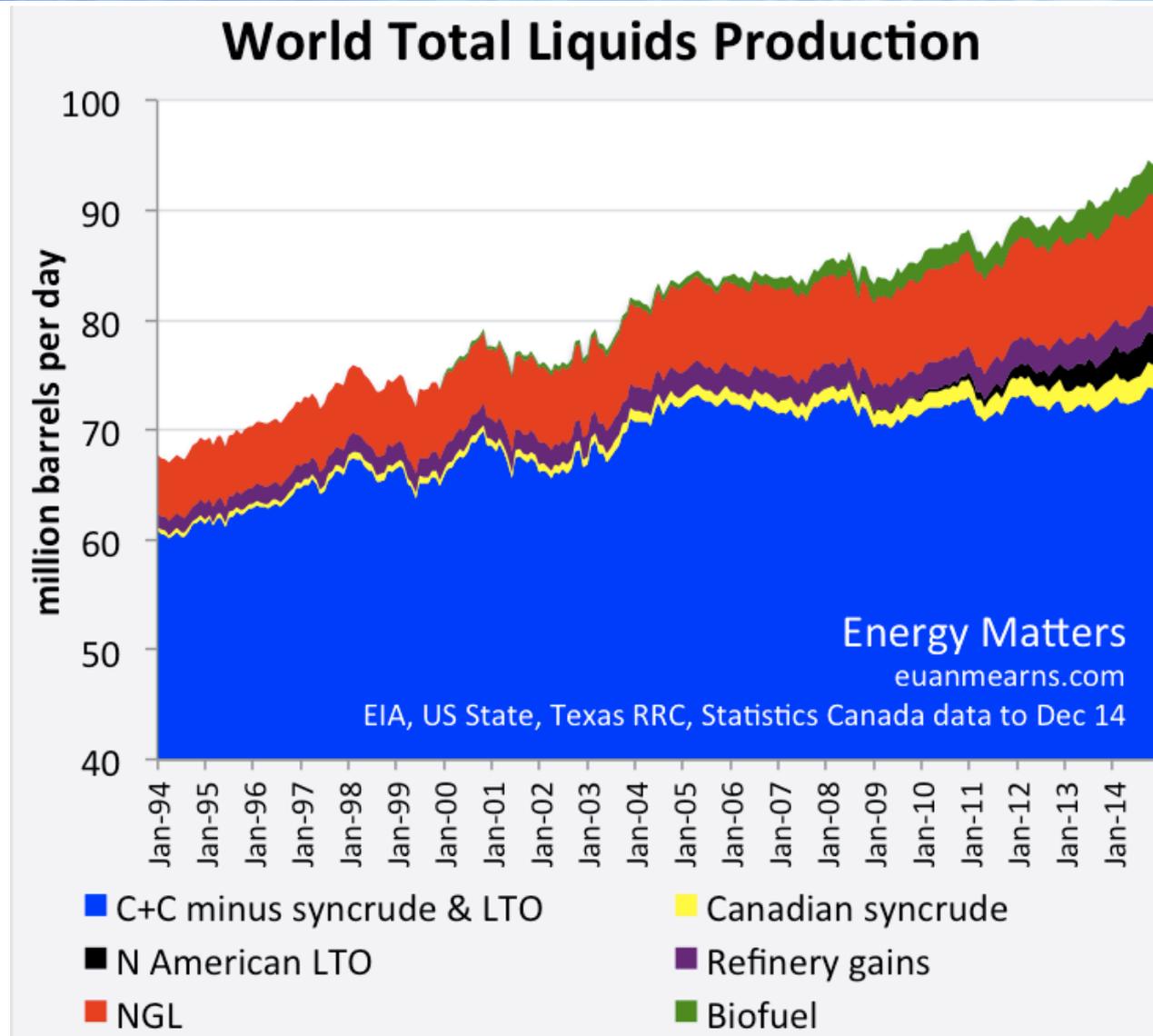
# Pico del Petróleo



Source: Colin Campbell, Association for the Study of Peak Oil, 2012

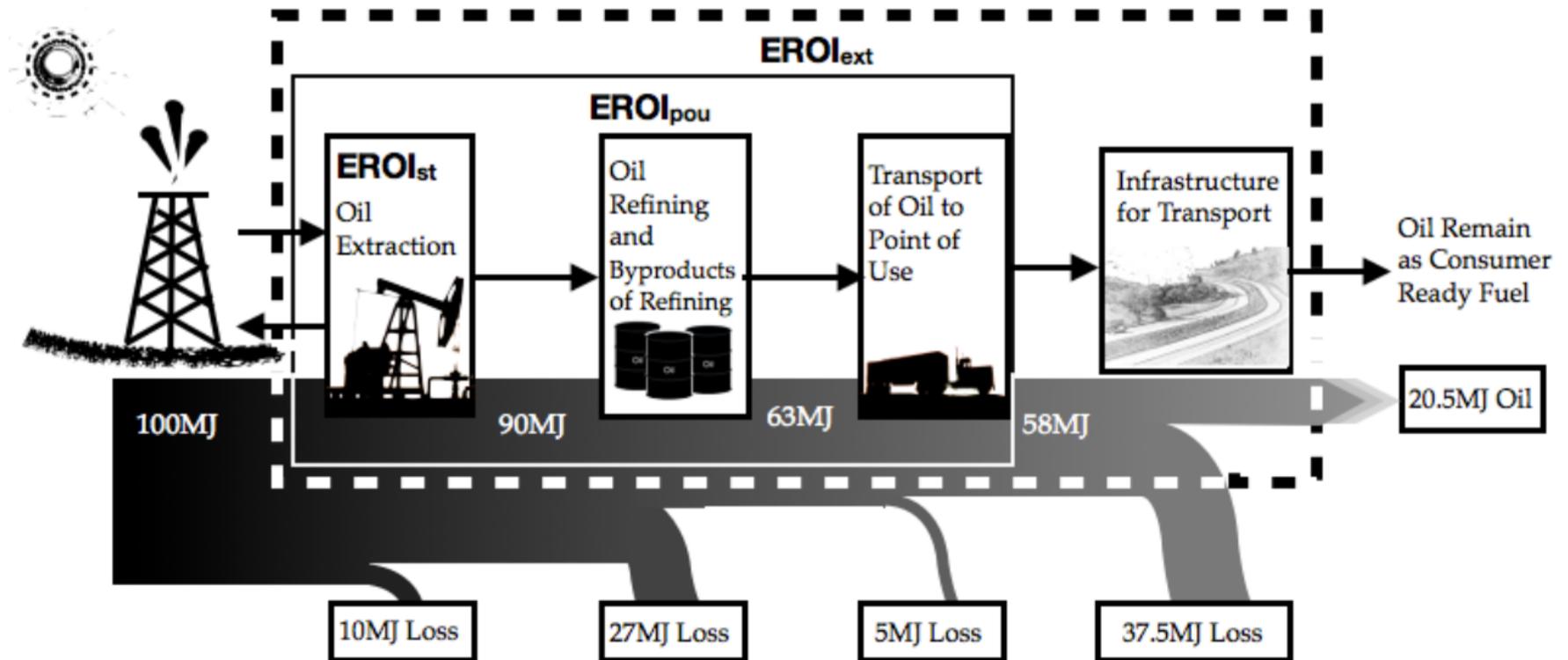
Producción mundial de petróleo convencional frente a descubrimientos 1930-2015

# Pico del Petróleo



A diferencia del petróleo convencional el total de líquidos (que no es lo mismo por su versatilidad, contenido energético y su TRE) continua creciendo. ¿Hasta cuándo?

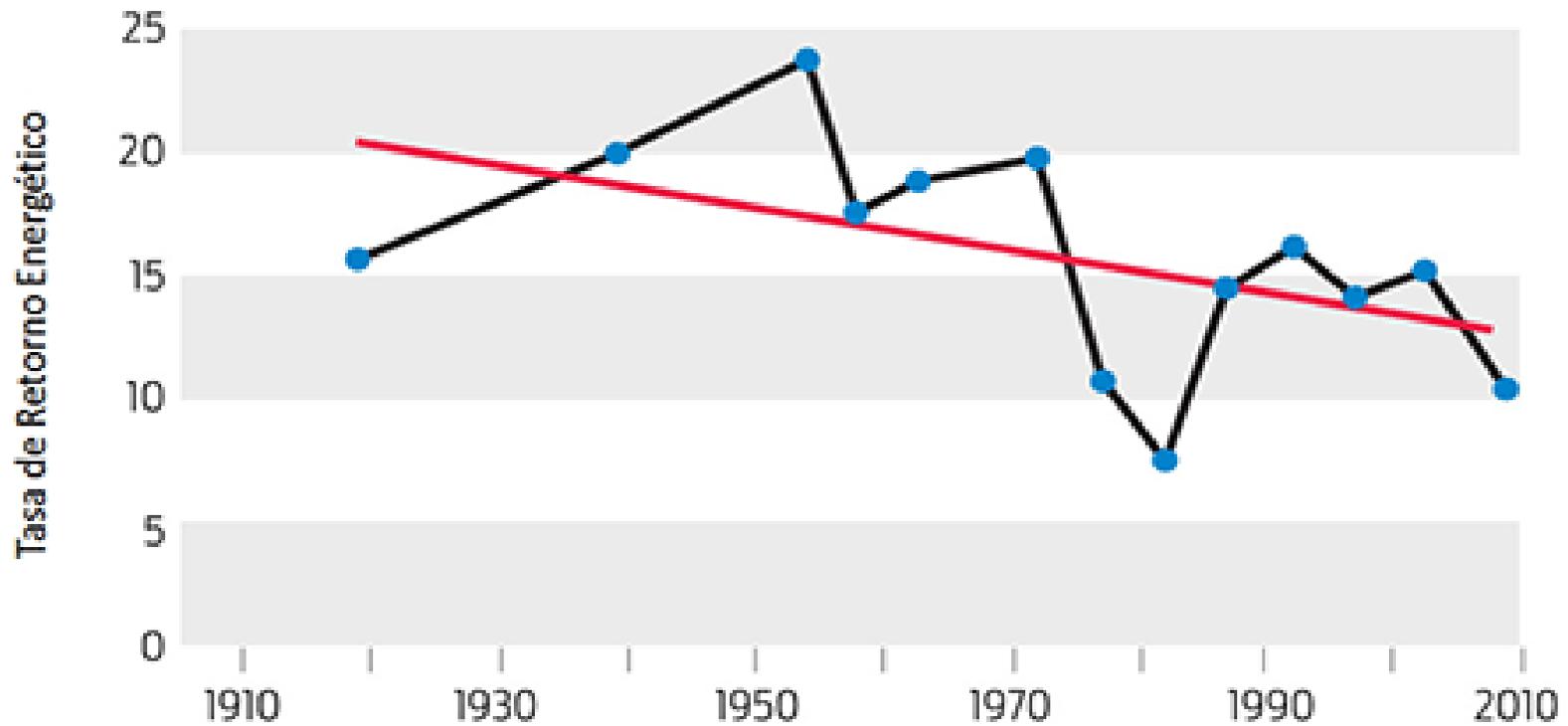
# ¿Sustitución?



Fuente: EROI of different fuels and the implications for society. Charles A.S. Hall, Jessica G. Lambert, Stephen B. Balogh. Energy Policy 64, 2014

Las estimaciones de la TRE dependiendo de hasta dónde y qué se considere pueden dar resultados muy distintos. En este ejemplo se ve cómo desde la boca del pozo al uso se pierden 4/5 partes.

# ¿Sustitución?

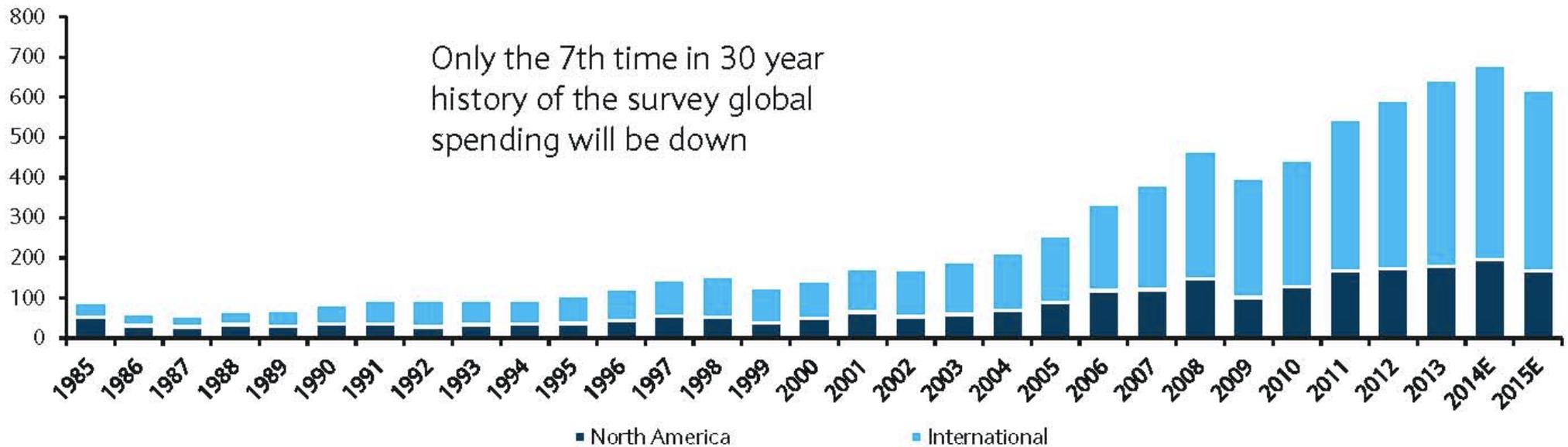


Fuente: "A New Long-Term Assessment on Energy Return on Investment (EROI) for U. S. Oil and Gas Discovery and Production", Megn C. Guilford et al. Sustainability, October 2011.

Tasa de Retorno Energético (TRE), la cantidad de energía producida, dividida por la energía necesitada para adquirirla, ha ido declinando en los EE. UU. y en el resto del mundo.

# Pico del Petróleo

Upstream Capital Spending (\$bn)

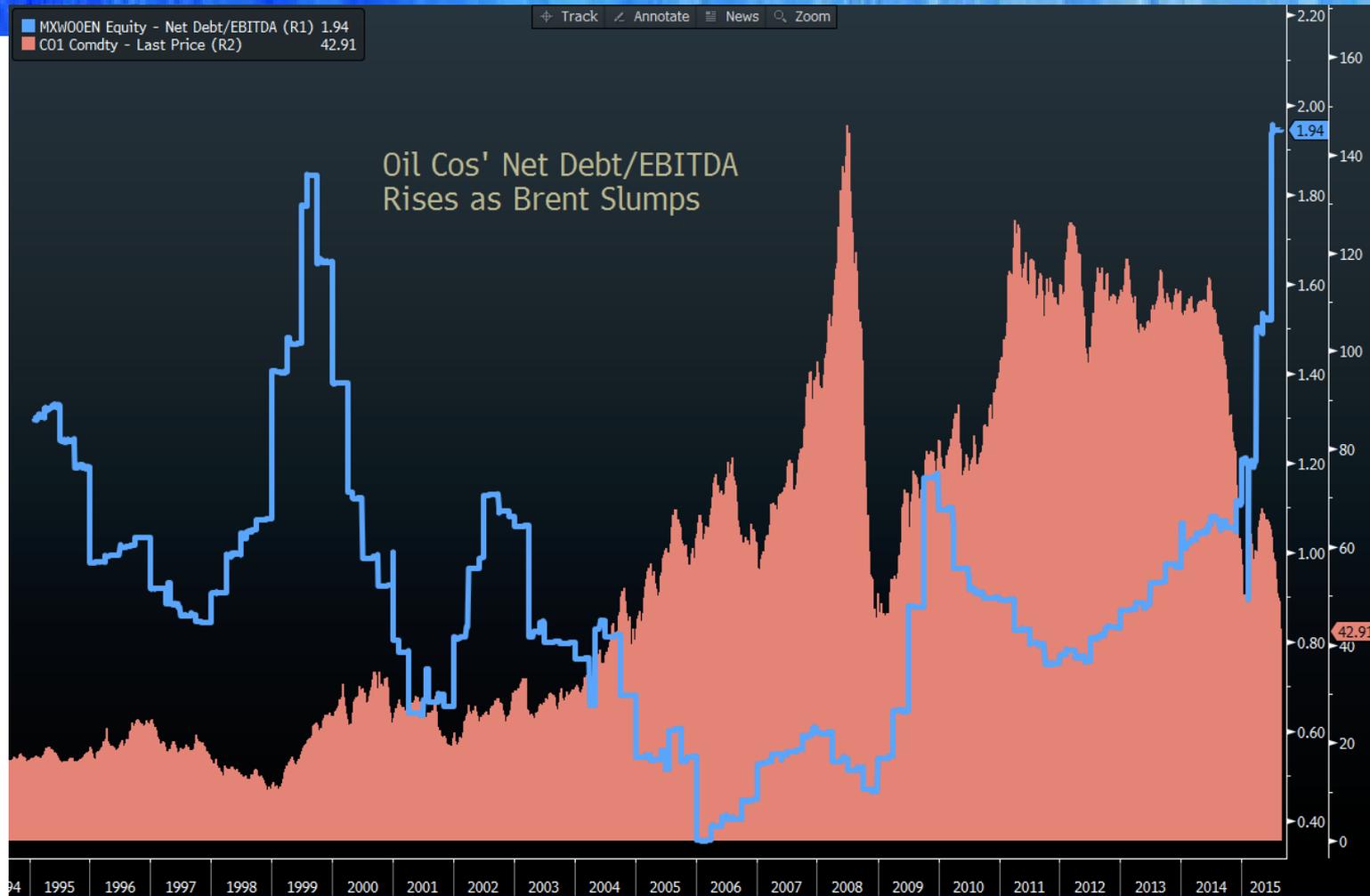


**Fuente: Barclays upstream capital spending budgets 2015**

According to a survey of 225 companies in Barclay's annual E&P Spending Outlook, global spending will decline by 8.8% in 2015. "However, because these budgets assumed oil prices would average \$70/bbl Brent & \$65/bbl WTI this year, we expect spending to trend even lower," says the report.

Global expenditures on oil projects jumped by 100% from \$300 billion per year (2005) to \$600 billion (2012). With a 100% increase in capital spending by the petroleum industry, we saw petroleum supplies remain more or less stuck in the exact same spot.

# Pico del Petróleo



Fuente: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-08-26/oil-industry-needs-to-find-half-a-trillion-dollars-to-survive>

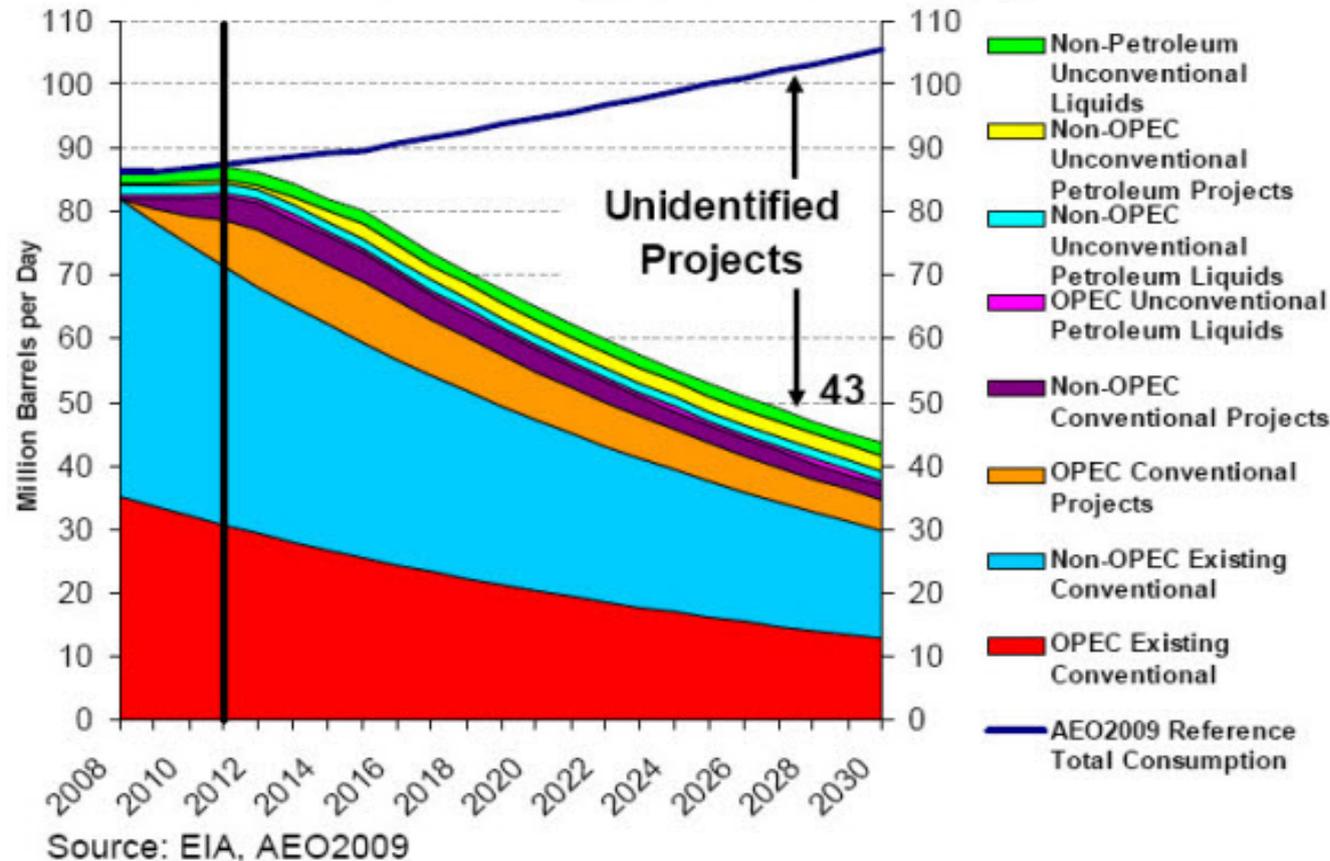
At a time when the oil price is languishing at its lowest level in six years, producers need to find half a trillion dollars to repay debt. Some might not make it.

The number of oil and gas company bonds with yields of 10 percent or more, a sign of distress, tripled in the past year, leaving 168 firms in North America, Europe and Asia holding this debt, data compiled by Bloomberg show.



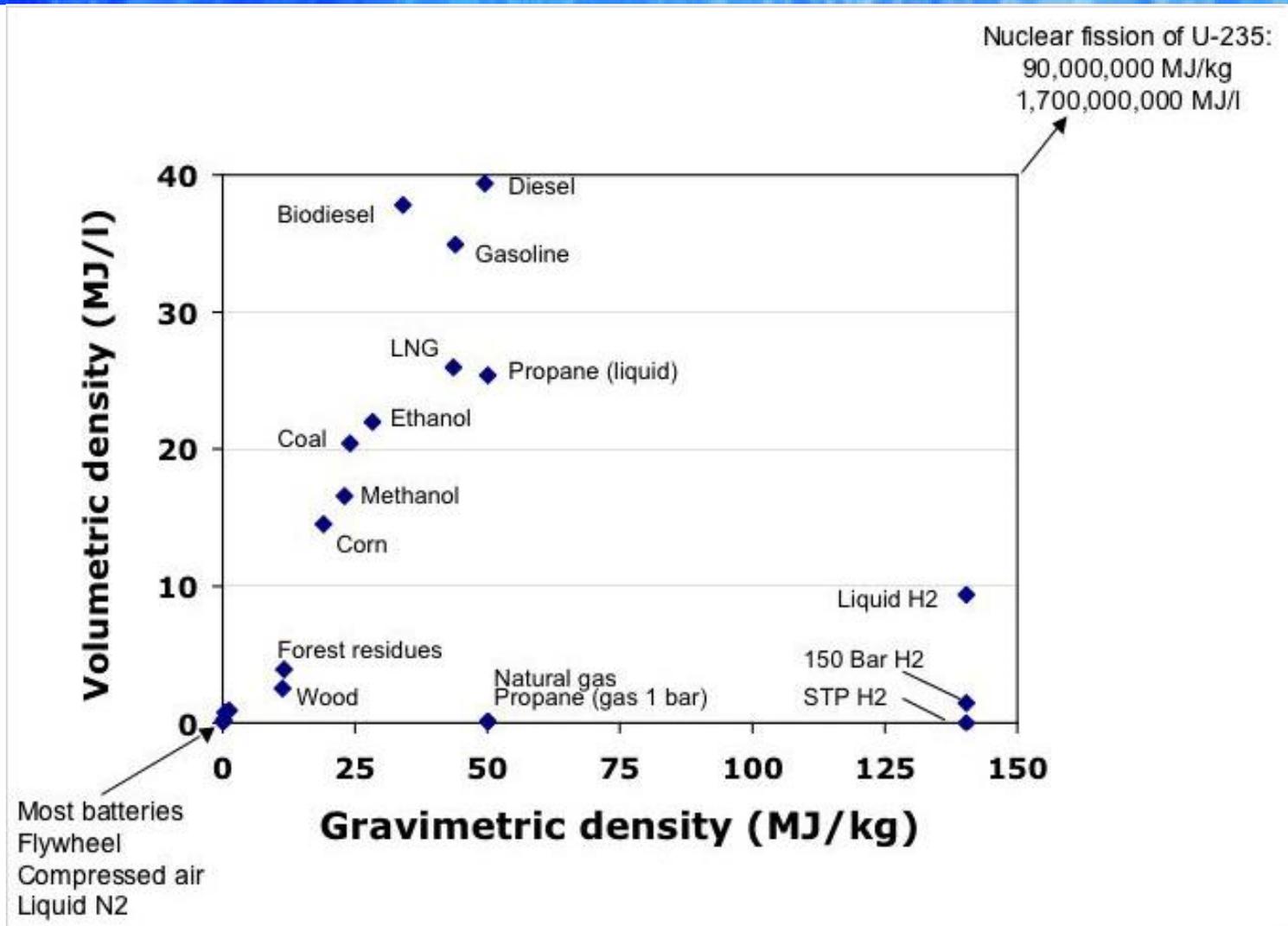
# ¿Sustitución?

## World's Liquid Fuels Supply



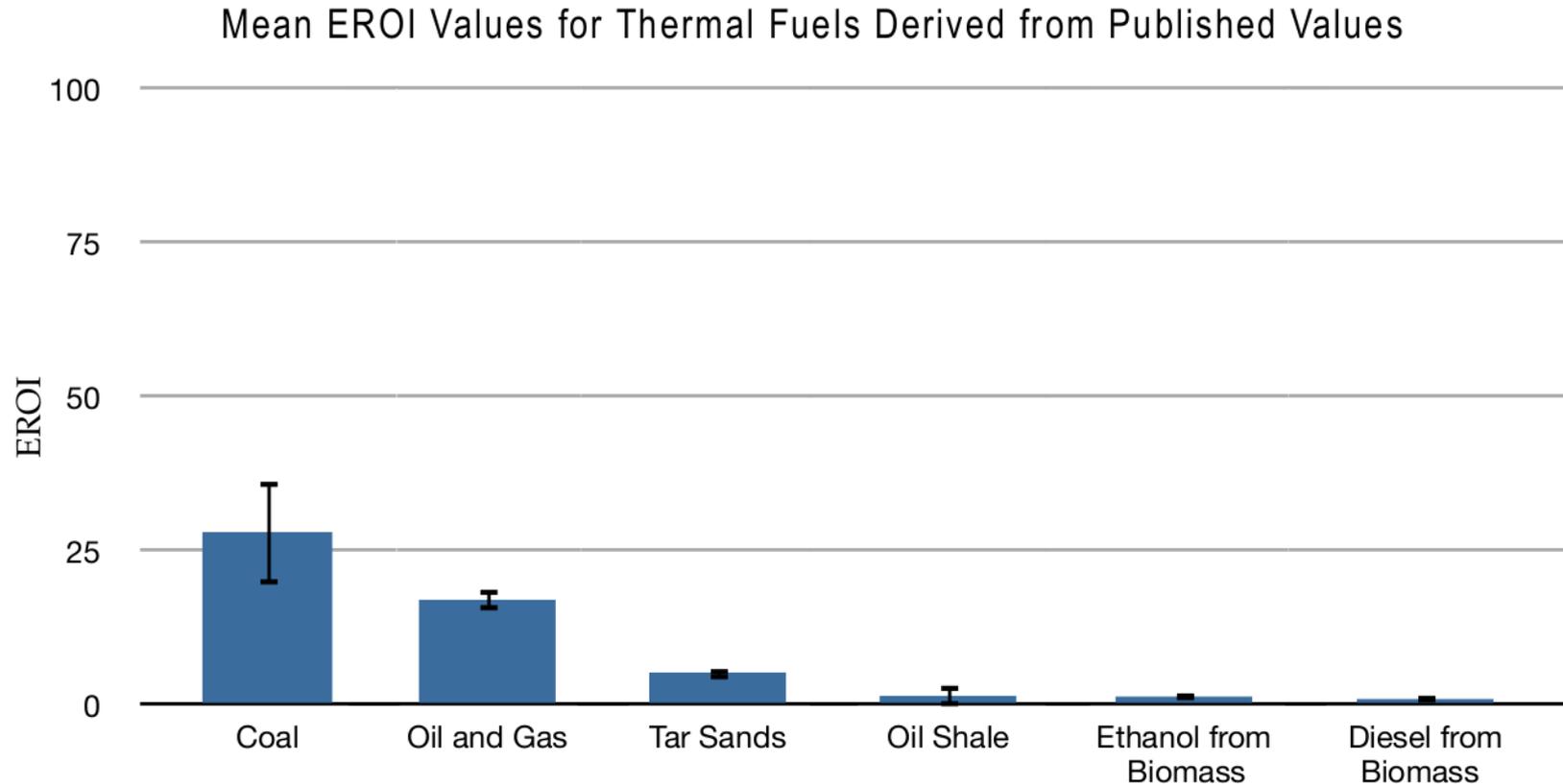
This chart shows that by 2030 world output of oil and other liquid fuels from current fields is expected to drop to 43 million barrels per day. While hydraulic fracturing has allowed us to recover oil from previously inaccessible deposits, it has not allowed us to grow oil supplies worldwide, Cobb writes.

# ¿Sustitución?



La dificultad de llenar el creciente “hueco” y un cambio, la primera vez en la historia, a una fuente energética “peor” y en declive. Las consecuencias...

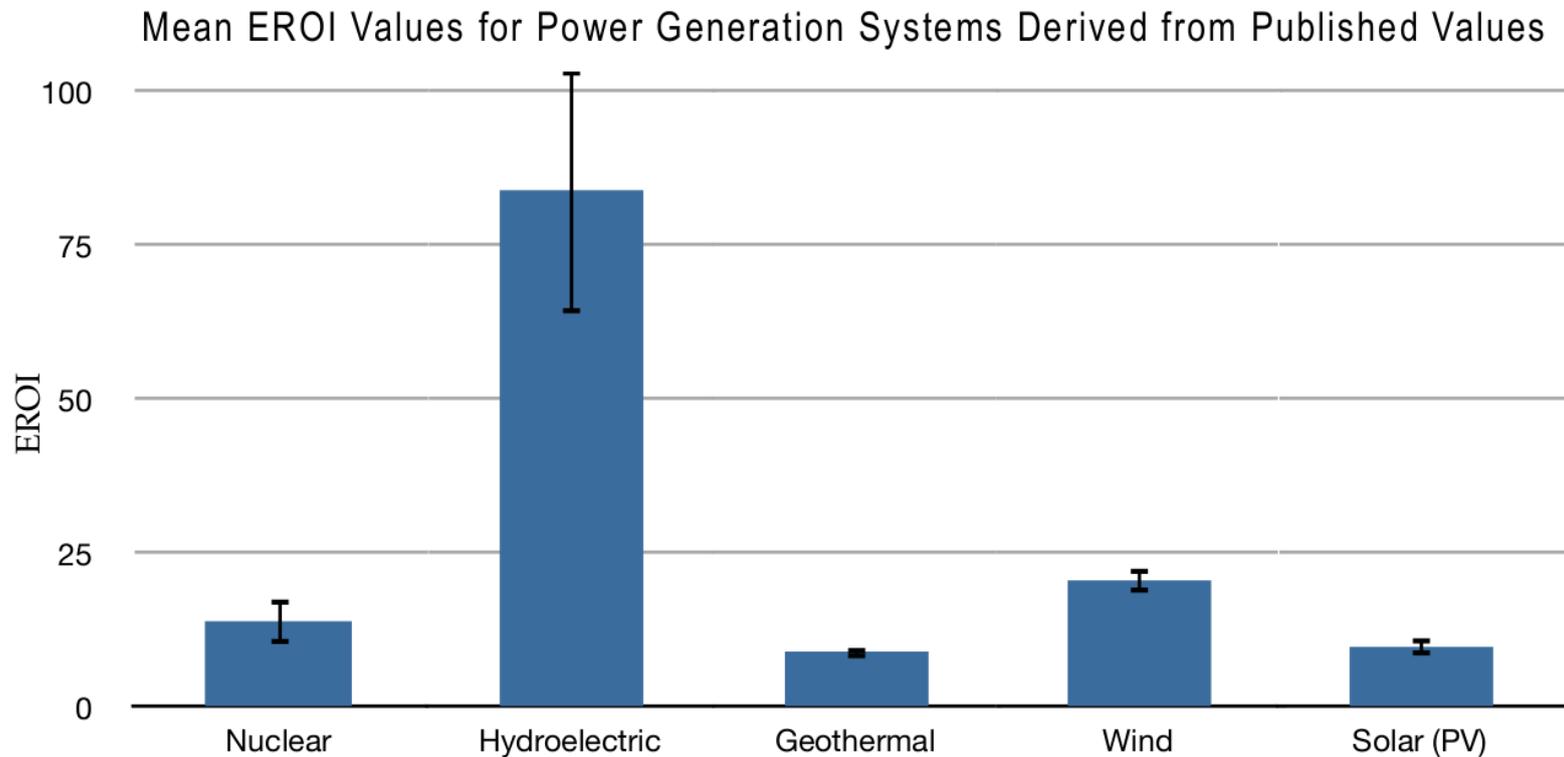
# ¿Sustitución?



Fuente: EROI of different fuels and the implications for society. Charles A.S. Hall, Jessica G. Lambert, Stephen B. Balogh. Energy Policy 64, 2014

Las estimaciones de la TRE de varias fuentes de energía varían considerablemente, especialmente para las renovables. (Se muestran la media y la desviación estándar de un meta-análisis de muchos estudios).

# ¿Sustitución?

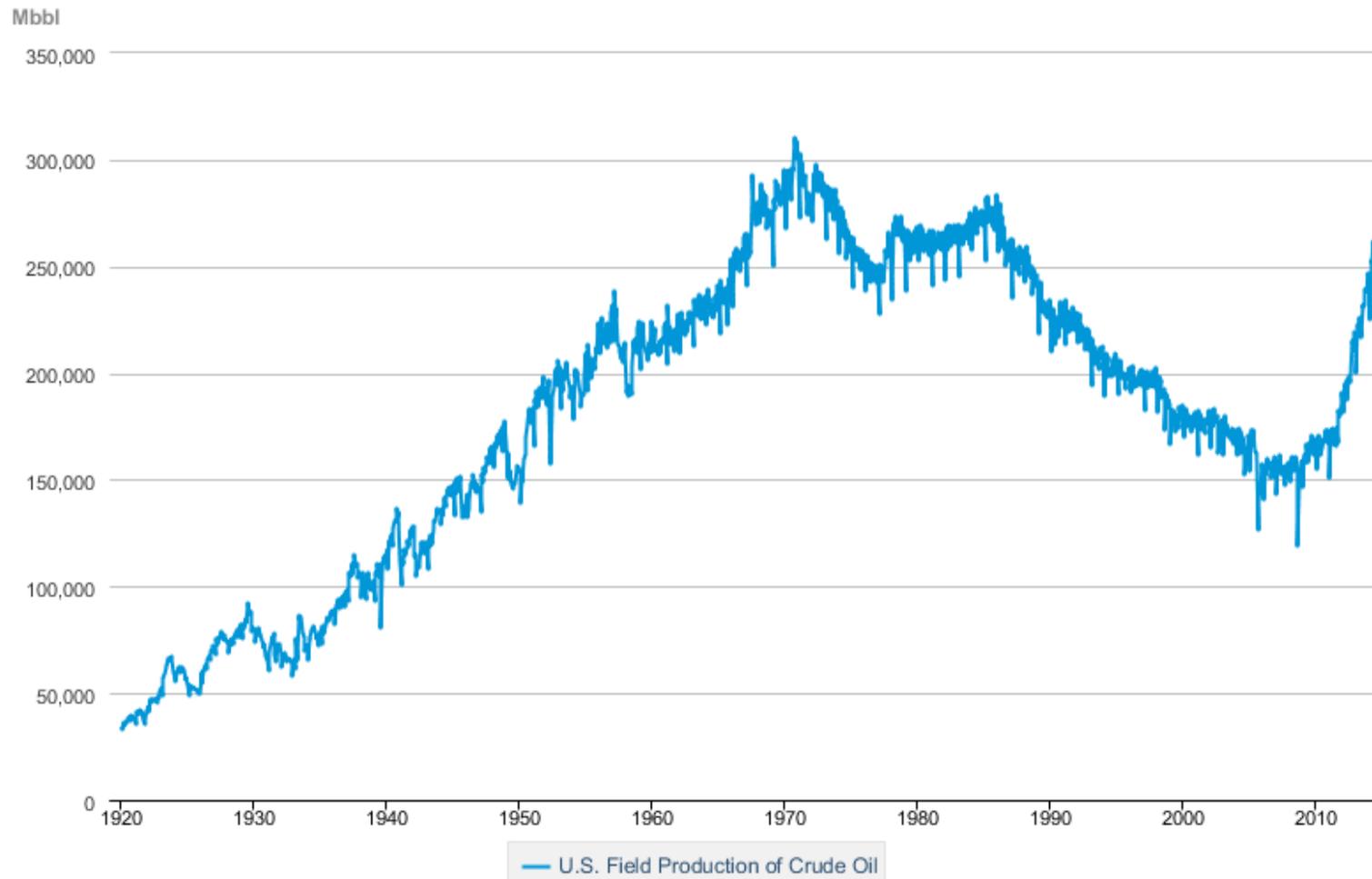


Fuente: EROI of different fuels and the implications for society. Charles A.S. Hall, Jessica G. Lambert, Stephen B. Balogh. Energy Policy 64, 2014

Las estimaciones de la TRE de varias fuentes de energía varían considerablemente, especialmente para las renovables. (Se muestran la media y la desviación estándar de un meta-análisis de muchos estudios).

# ¿Fracking?

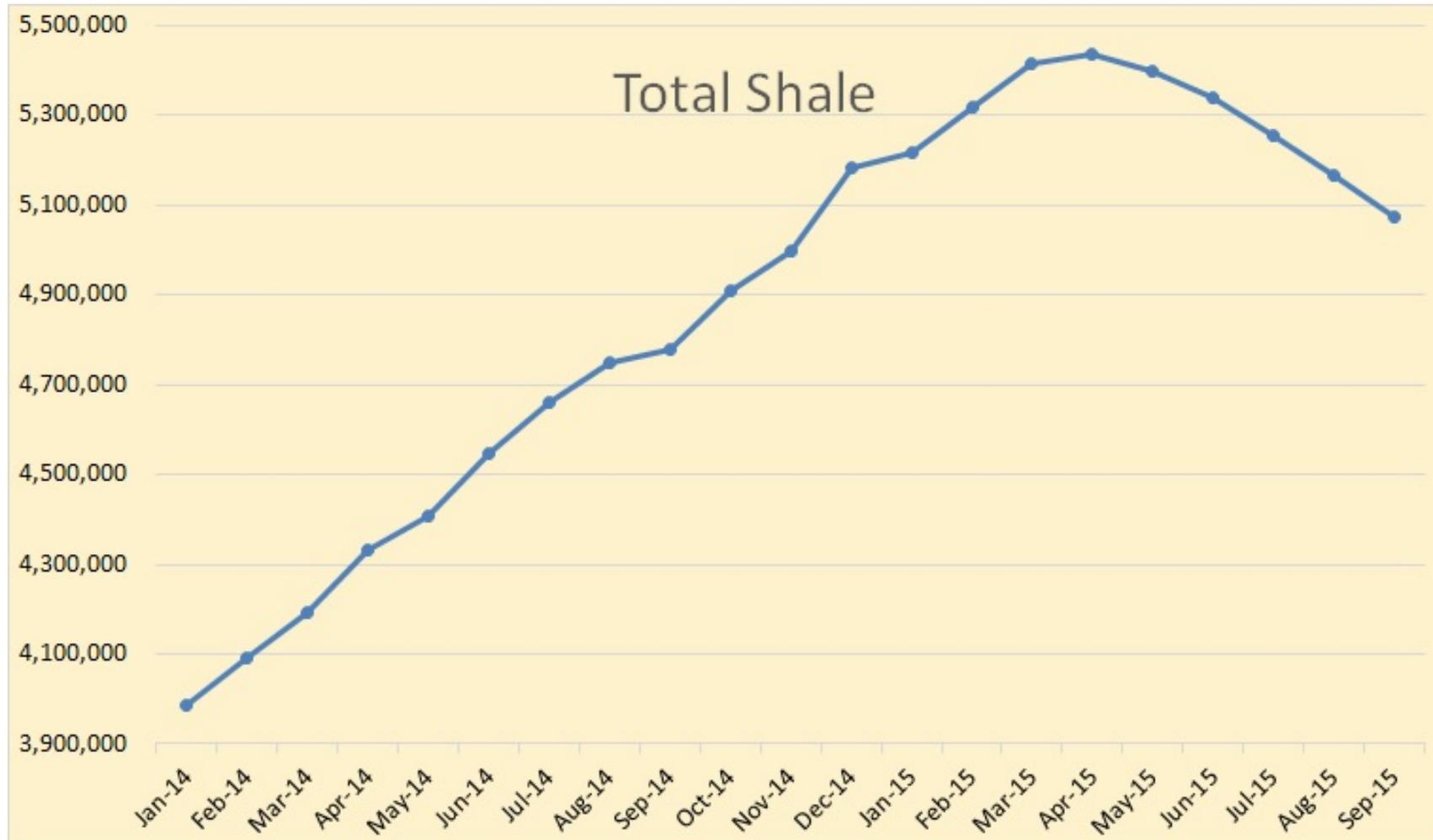
## Crude Oil Production



 Source: U.S. Energy Information Administration

El pico estuvo en 10.044.000 de barriles al día de media en noviembre de 1970

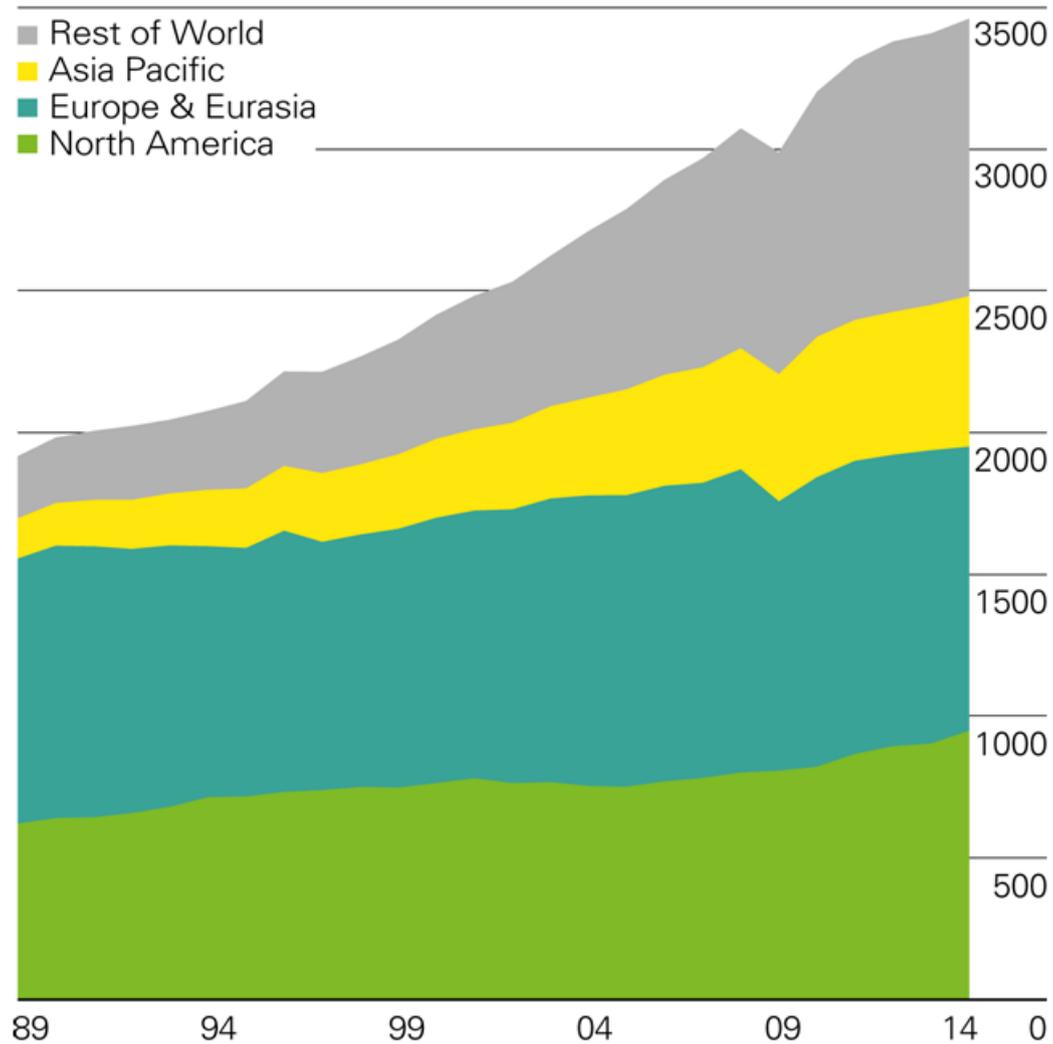
# ¿Fracking?



Fuente: Ron Patterson. The EIA's Drilling Productivity Report

The EIA says the total of all seven shale plays peaked in April at 5,694,580 bpd.

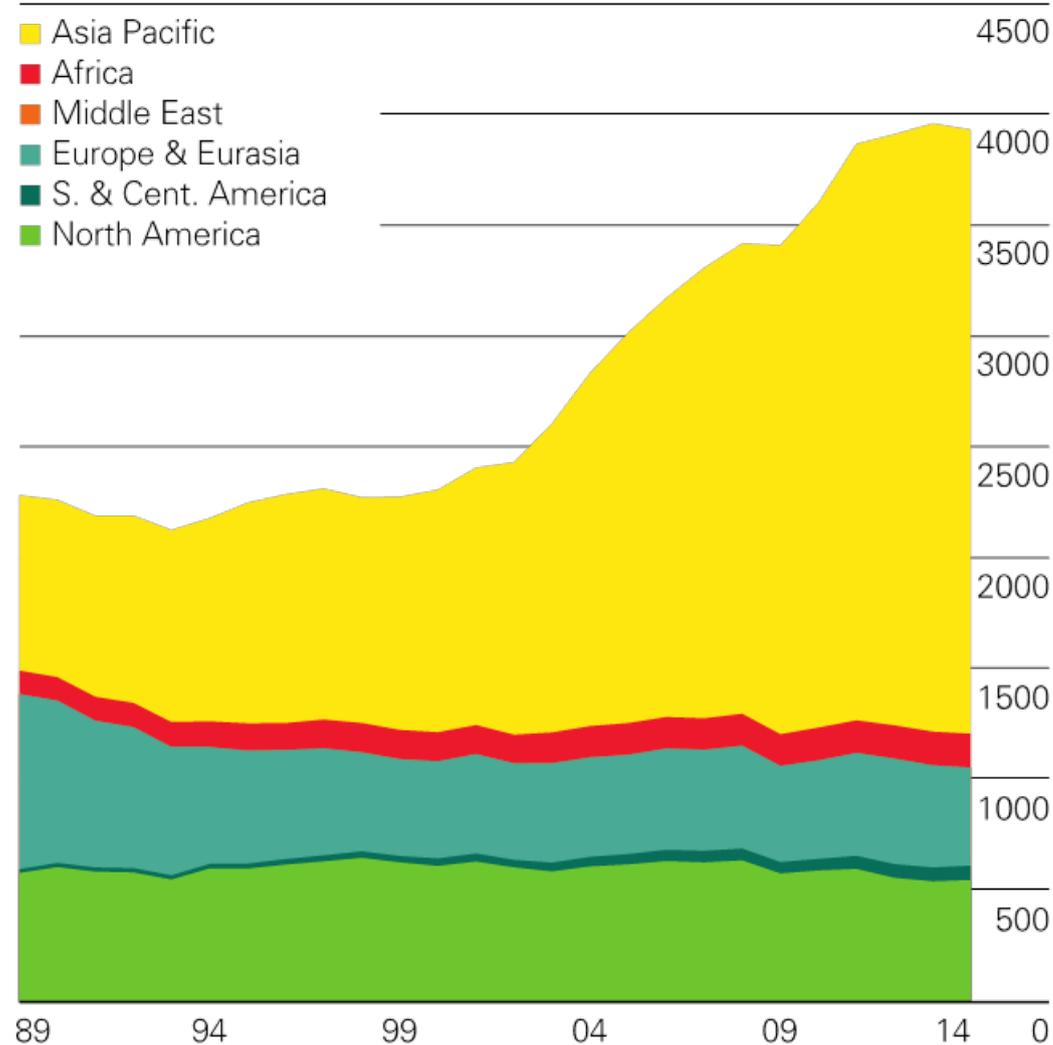
# ¿Gas?



Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2015

Producción por zonas del mundo en billones de metros cúbicos desde el año 1989 al 2014.

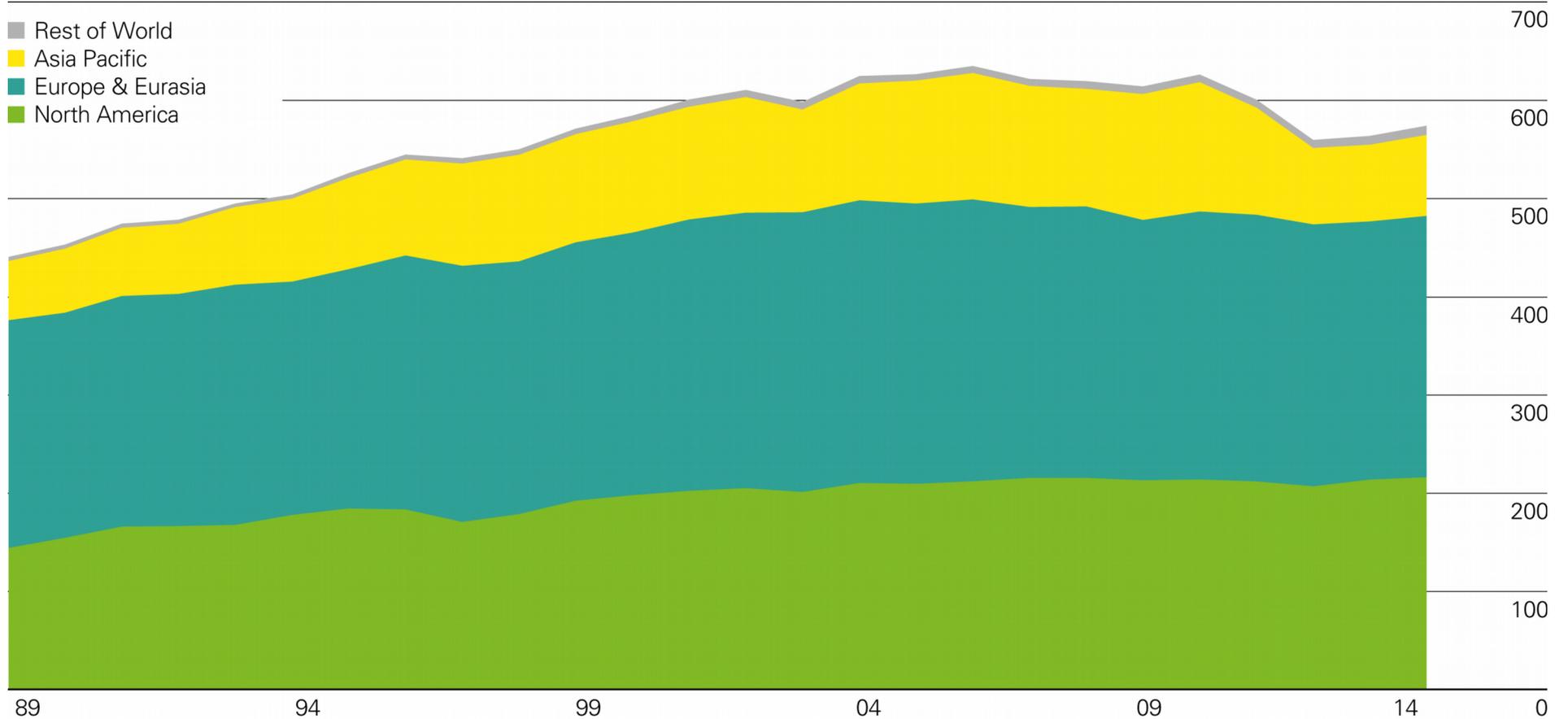
# ¿Carbón?



Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2015

Producción por zonas del mundo en MTOE (millones de toneladas equivalentes de petróleo) desde el año 1989 al 2014. En 2014 la producción declinó un 0,7%

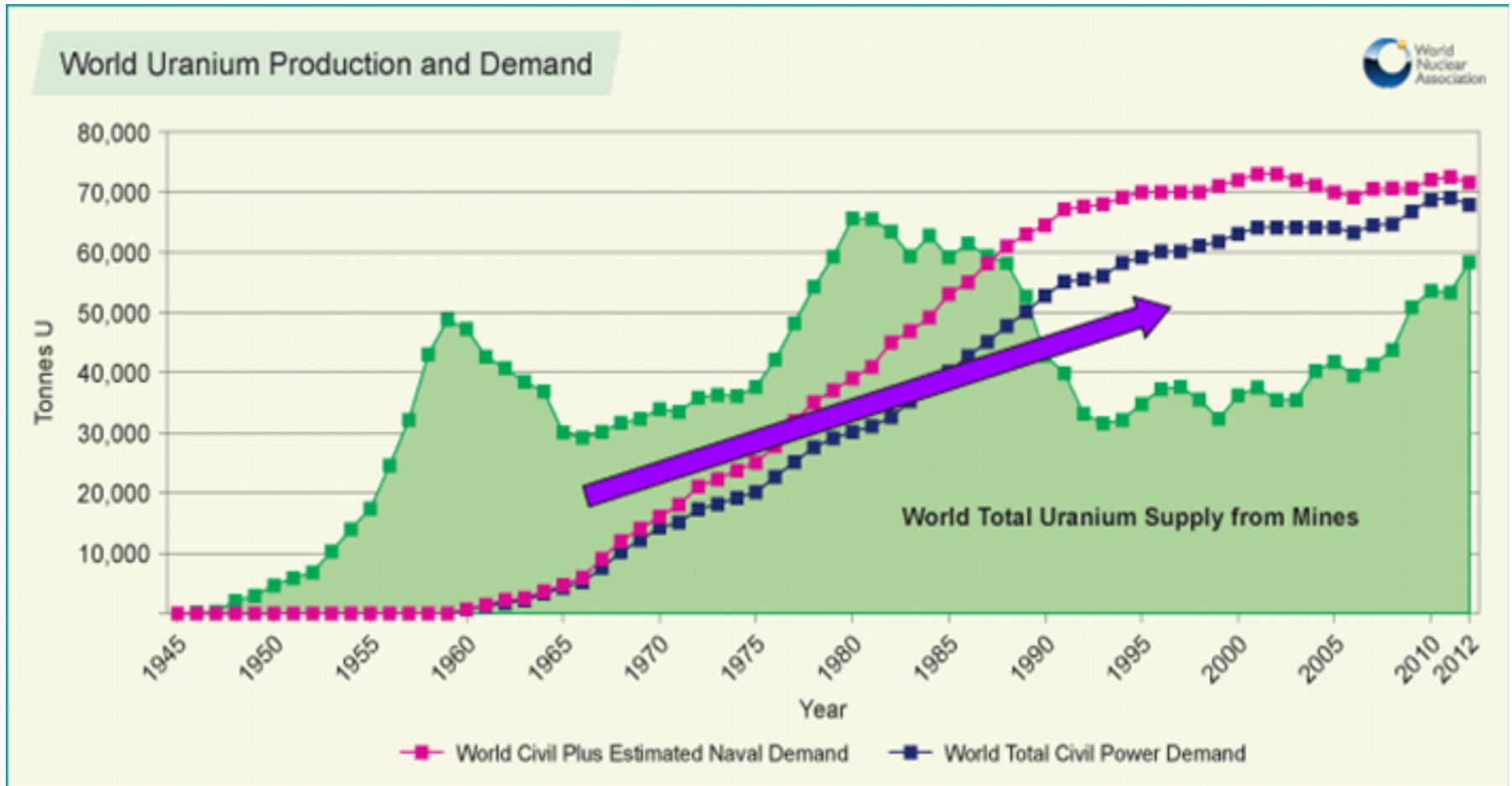
# ¿Nuclear?



Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2015

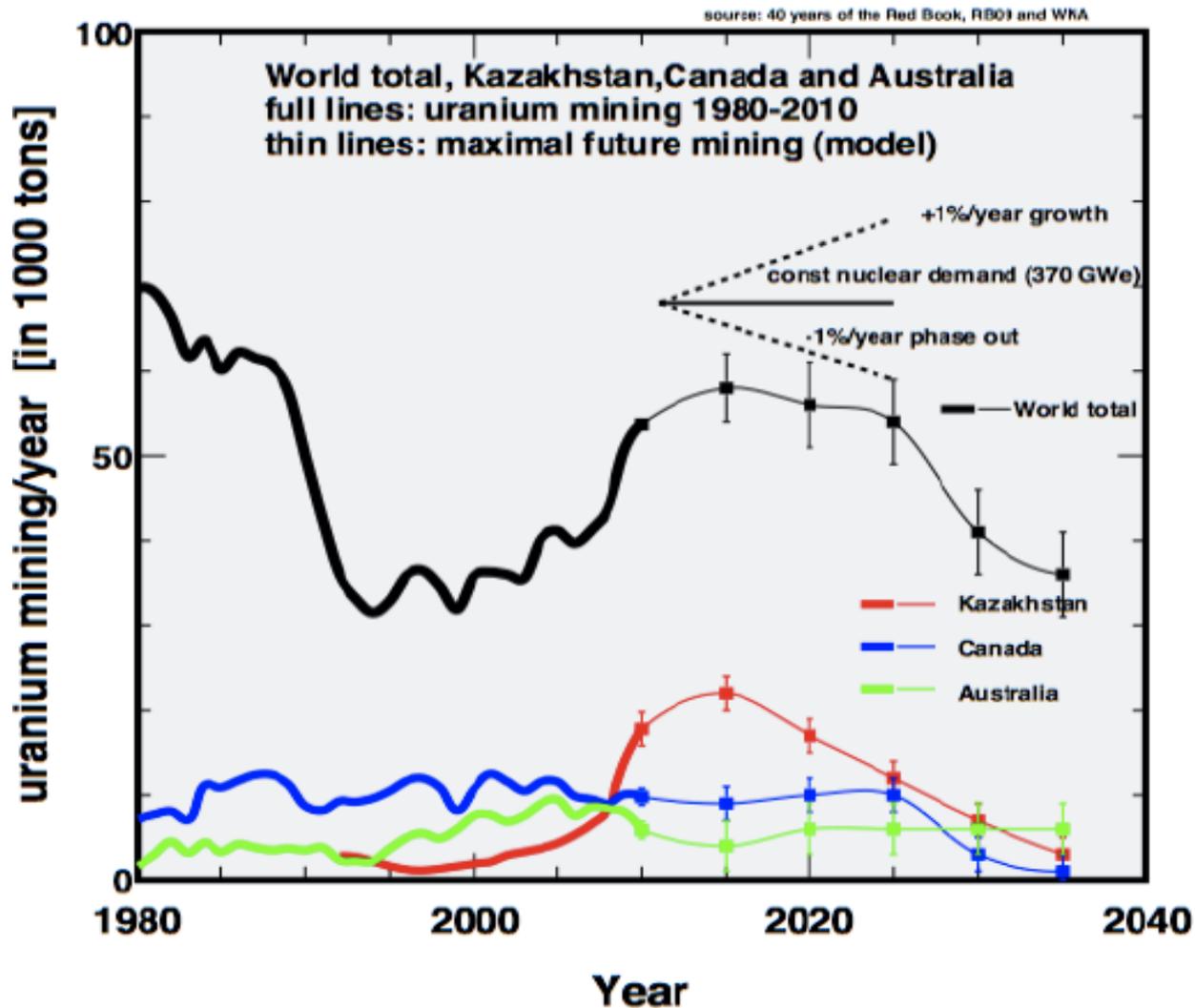
Producción por zonas del mundo en MTOE (millones de toneladas equivalentes de petróleo) desde el año 1989 al 2014.

# ¿Nuclear?



Fuente: <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production/>

# ¿Nuclear?



Fuente: The end of cheap uranium - Michael Dittmar. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.04.035

Hay estudios que predicen que el uranio podría ser el segundo combustible no renovable en llegar a su máximo productivo y empezar a declinar, tan pronto como 2015,

# ¿Solar Fotovoltaica?

Consumo actual de energía primaria mundial: 17 TW año

Estimaciones de potenciales máximos de energía fotovoltaica en la literatura:

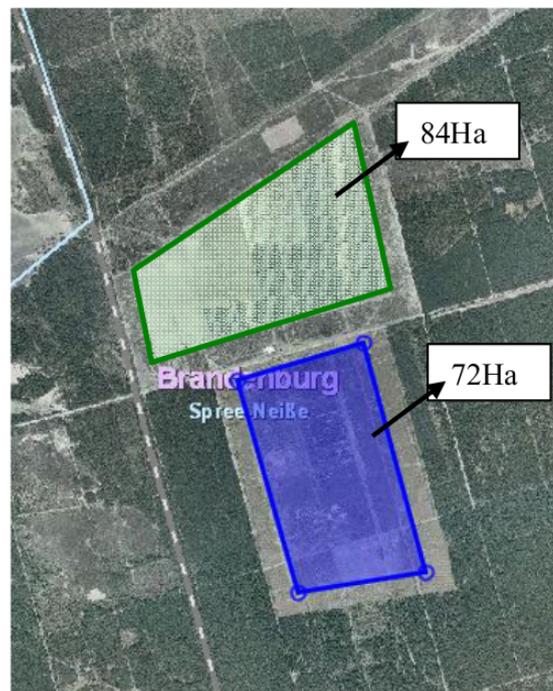
De Vries → 170 - 490 TW año

Grassi et al → 33 TW año

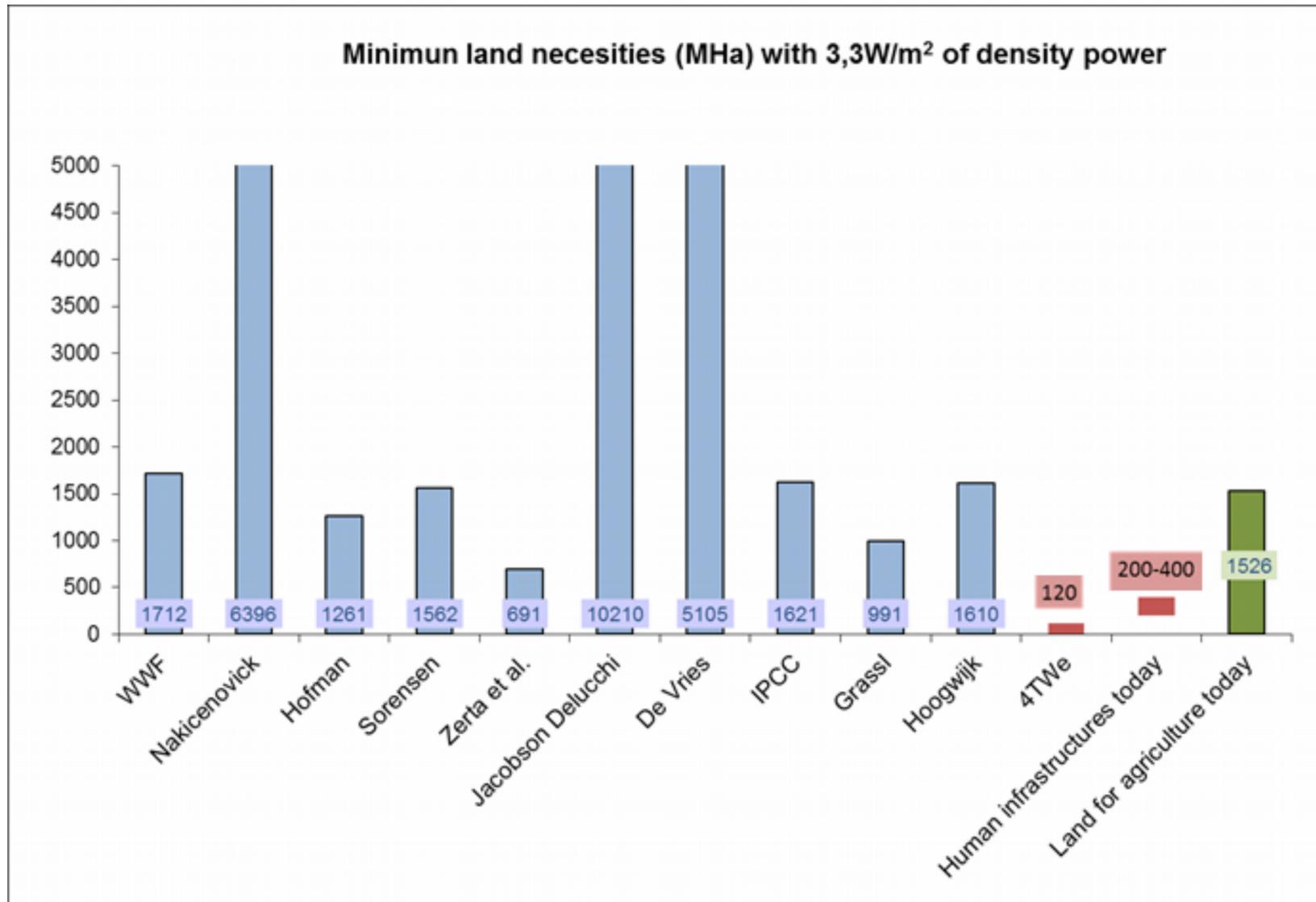
Jacobson – Deluchi → 340 TW año

Pero la estimación realista de la densidad de energía: 12-23 We/m<sup>2</sup> → 3,3 We/m<sup>2</sup>

Por lo que nuestro límite estaría cerca de los 4 TW año



# ¿Solar Fotovoltaica?



Fuente: Global solar electric potential: A review of their technical and sustainable limits. Carlos de Castro et al. doi:10.1016/j.rser.2013.08.040

# ¿Eólica?

Sólo el 8,5% de los suelos de la tierra tienen clase de vientos aptas para parques eólicos.

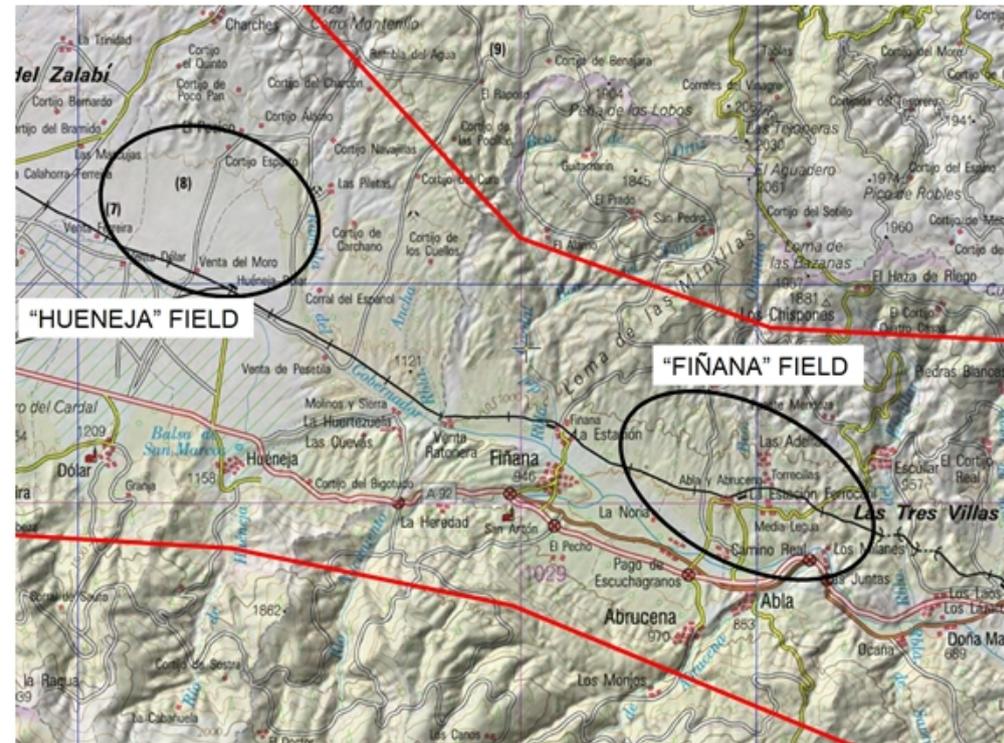
Debemos restar desiertos, altas montañas, ríos, infraestructuras, ciudades, etc.

Quedando menos de una cuarta parte del suelo “con viento”, osea un el 2% del suelo del mundo, 260 millones de hectáreas (nuevas a colonizar con molinos, caminos, líneas de alta tensión, transformadores... si bien, más dispersa que la fotovoltaica y en muchos casos apta para otros usos).

Si consideramos una densidad de energía de  $1 \text{ We/m}^2$  (PNAS vol.112 no.36, Lee M. Miller, 11169–11174) nos daría un límite de 2,6 TWe.

Aunque quizás este límite se reduzca por lo menos a un 1/3 en el mundo real.

**Conjunto eólico “Marquesado” un embudo que se produce entre el Parque natural de Sierra Nevada (sur) y el Parque natural de la Sierra de Baza (norte). En total 185 turbinas tienen instalada una potencia nominal de 374,15MW, en el “embudo” la densidad de potencia instalada es de unos  $0,3\text{MW/Km}^2$  o  $0,3 \text{ W/m}^2$**



# Últimas reflexiones sobre la crisis energética

**Partimos de un presupuesto erróneo:  
en un mundo finito no cabe un crecimiento infinito**

$$E = m c^2$$

La energía en un kilogramo de masa =  $1 \times (300.000 \text{ km/s})^2 \approx 9 \cdot 10^{16} \text{ j}$

Energía consumida en 2011 en el mundo =  $12.275 \cdot 10^6 \text{ Tep}$

Como  $1 \text{ Tep} = 42 \cdot 10^9 \text{ j}$

Energía consumida en 2011 en el mundo =  $5,1555 \cdot 10^{20} \text{ j}$

O lo que es lo mismo necesitaríamos 5730 kg de masa para conseguir toda la energía que gastamos en el 2011

# Últimas reflexiones

## Partimos de un presupuesto erróneo: en un mundo finito no cabe un crecimiento infinito

La media histórica es aproximadamente un 2% de crecimiento en el consumo de energía a nivel mundial.

En los últimos 60 años hemos triplicado nuestro consumo energético a nivel mundial.

Masa de la Luna =  $7,4 \cdot 10^{22}$  kg

Masa de la Tierra =  $6 \cdot 10^{24}$  kg

Masa del sistema solar =  $2 \cdot 10^{30}$  kg

Masa del Universo =  $1 \cdot 10^{53}$  kg

$5730 \times 1,02^n = 7,4 \cdot 10^{22} \rightarrow n = 2222$  años desde ahora para comernos la Luna

$5730 \times 1,02^n = 6 \cdot 10^{24} \rightarrow n = 2444$  años desde ahora para la Tierra

$5730 \times 1,02^n = 2 \cdot 10^{30} \rightarrow n = 3086$  años desde ahora para el sistema solar

$5730 \times 1,02^n = 1 \cdot 10^{53} \rightarrow n = 5725$  años desde ahora para el Universo

# Últimas reflexiones sobre la crisis energética

La energía nos permite modificar nuestro entorno.



El sueño de la razón produce monstruos... cuidado con nuestros sueños.