



1 de septiembre de 2013 | Vol. 14 | Núm. 9 | ISSN 1607 - 6079

# ARTÍCULO

## **ENERGÍA FINITA EN UN PLANETA FINITO**

*Luca Ferrari*

## ENERGÍA FINITA EN UN PLANETA FINITO

### Resumen

El sistema energético global es altamente insustentable debido a su extrema dependencia de fuentes no renovables como los combustibles fósiles, que en la actualidad representan el 81% del suministro de energía. El crecimiento sostenido que ha ocurrido a partir de la Revolución Industrial se debe a la explotación de esta herencia geológica finita que estamos gastando a un ritmo acelerado. La producción de petróleo convencional llegó a

su máximo en la década pasada, provocando un incremento espectacular del precio del crudo y el fin de la energía barata. El petróleo de mejor calidad y mas fácil de extraer ha sido ya descubierto y en buena medida ya explotado. Los altos precios del crudo han permitido iniciar la explotación del petróleo no convencional que se caracteriza por altos costos de producción, menor ganancia energética y mayor impacto ambiental.

La expansión de la economía global de las últimas décadas se basó en energía barata en cantidades continuamente crecientes. Esta era ha llegado a su fin. Lo que impone un cambio de paradigma y el abandono del consumismo para transitar hacia una sociedad post-petrolera, que debe necesariamente sujetarse a la menor disponibilidad energética que proveen las energías renovables.

“  
La producción de cualquier bien implica disponibilidad de recursos y trabajo, que se realiza consumiendo energía.  
”

**Palabras clave:** Pico del petróleo, tasa de retorno energético, petróleo no convencional, economía global, fin del crecimiento

### FINITE ENERGY IN A FINITE WORLD

#### Abstract

*The global energy system is highly unsustainable because of its extreme reliance on non-renewable sources such as the fossils fuels, presently representing 81% of the global energy supply. The steady growth experienced since the Industrial Revolution is due to the exploitation of this finite geologic inheritance, which is being consumed at a fast rate. Conventional oil production peaked during the past decade, provoking a spectacular increase in oil price and the end of cheap energy. The best quality oil and the one easier to produce has been already discovered and mostly exploited. The high oil price of the past decade allowed the exploitation of unconventional oil, which has higher cost of production, lower energy gain, and higher environmental impact.*

*The expansion of the global economy of the past decades relied on an ever-increasing availability of cheap oil. This era came to an end. This demand a paradigm shift, the abandon of consumerism and a transition toward a post-carbon world, which has to adapt to the lower amount of energy provided by renewable energy sources.*

**Keywords:** Peak oil, Energy Return on Energy Invested (EROEI), unconventional oil, global economy, end of growth

## ENERGÍA FINITA EN UN PLANETA FINITO

### Introducción

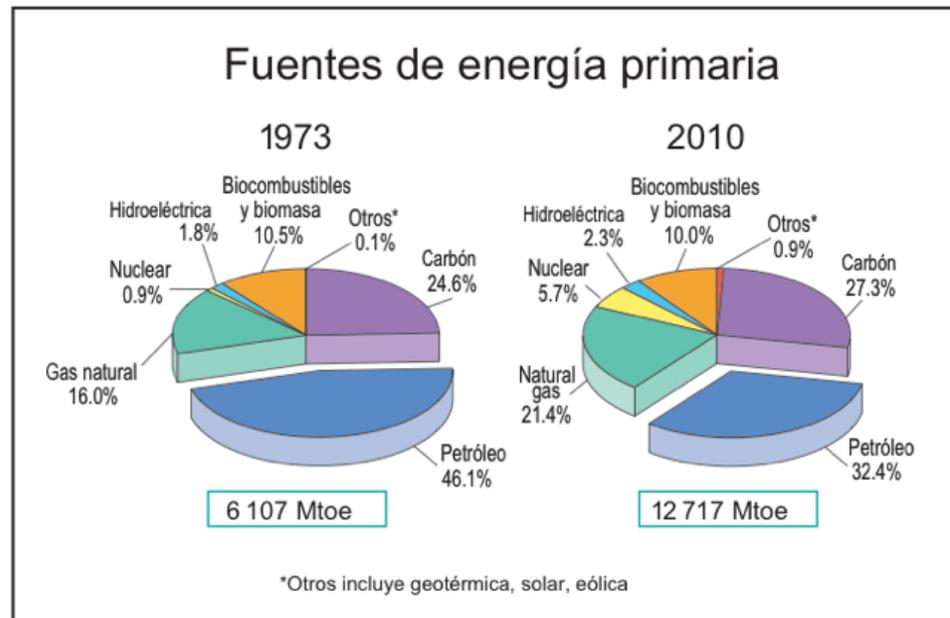
"Growth for the sake of growth is the ideology of the cancer cell"

Edward Abbey, 1991

Evaluar la sustentabilidad del sistema energético actual es relativamente sencillo. La Tierra sólo cuenta con dos fuentes de energía: la que procede de su interior, producto del calor residual de su formación y del decaimiento de los elementos radioactivos de la corteza, y la que llega del exterior, procedente del Sol. Sólo las energías que derivan de estas dos fuentes pueden decirse sustentables porque su suministro, aunque no es infinito, va a existir por un tiempo mucho mayor de que lo hará la civilización humana. Por el 95% de su historia nuestra especie ha vivido de manera sustentable usando sólo la energía solar y sus derivados (vientos, energía hidráulica y biomasa). Durante este largo periodo la población humana no rebasó unos cientos de millones de individuos. Los avances eran lentos y las civilizaciones se desarrollaban, tocaban su auge y luego declinaban cuando rebasaban los recursos energéticos a su alcance o la capacidad de soporte del medio ambiente (Tainter, 1988).

El crecimiento acelerado de la humanidad en los últimos tres siglos es algo inusual, que ha sido posible sólo gracias al espectacular incremento de la energía disponible asociado al uso masivo de los combustibles fósiles. Carbón, petróleo y gas representan una fracción de la energía solar recibida por el planeta en el pasado geológico, transformada en energía química gracias al aumento de presión y temperatura proporcionados por procesos tectónicos que se deben a la energía interna de la Tierra. Se trata de recursos finitos, no renovables, una herencia geológica que una vez consumida no volveremos a tener. En la actualidad los combustibles fósiles constituyen el 81% de la energía que se usa a nivel global (Figura 1) y los derivados del petróleo proveen el 95% de la energía usada para el transporte (IEA, 2012). Sin embargo, en poco más de 150 años hemos quemado casi la mitad del petróleo que se ha formado en millones de años y hemos transferido de la corteza terrestre a la atmósfera enormes cantidades de carbono que están contribuyendo a modificar el clima. Este camino no puede continuar al infinito y, evidentemente, no es sustentable.

Figura 1:  
 Tipo de energía primaria  
 utilizada a nivel global en  
 1973 y 2010 según datos de  
 la Agencia Internacional del  
 Energía (IEA, 2012)



Esta simple verdad es negada a diario por economistas neoclásicos y neoliberales, seguidos acriticamente por la clase política de todos los países desarrollados, que pregonan el aumento de la producción y el consumo - el "crecimiento económico" - sin considerar sus costos energéticos y ecológicos. No es en vano que esta escuela de pensamiento haya surgido durante la Revolución Industrial, con el inicio de la explotación masiva de los combustibles fósiles. A principio del siglo XIX la disponibilidad de estas nuevas fuentes de energía y de los recursos naturales parecía infinita, mientras que la población del planeta era menor a la séptima parte de la actual, por lo que los economistas podían teorizar que la demanda determinaba la oferta, olvidándose de los límites físicos y ecológicos del sistema Tierra. Los dos siglos que siguieron vieron un crecimiento exponencial de todos los indicadores económicos, que acabó por convencernos que el progreso material puede continuar al infinito. Sin embargo las leyes de la física son más poderosas que las teorías económicas. La producción de cualquier bien implica disponibilidad de recursos y trabajo, que se realiza consumiendo energía. La economía depende entonces de la cantidad de recursos y energía disponible y no de la cantidad de dinero circulante.

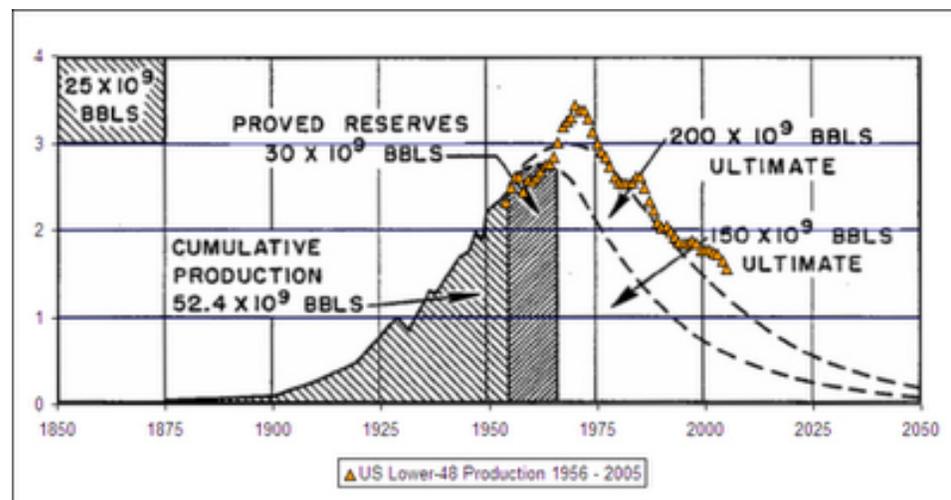
Las advertencias acerca de la no sustentabilidad de una civilización basada en recursos no renovables se remontan a principio de la década de los setenta, cuando un grupo de personalidades del mundo académico y político reunidos en el llamado *Club de Roma* encargó al *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) la realización de un estudio sobre los problemas que podían amenazar la sociedad global en el futuro. El modelo del MIT trató de simular el crecimiento de la población, el crecimiento económico y el incremento de la huella ecológica en los siguientes 100 años. Los resultados, publicados en el libro "Los límites del crecimiento" (Meadows et al., 1972), indicaron que, en un planeta finito, el crecimiento exponencial de la población y del producto per cápita no son sostenibles, ya que existen límites al crecimiento impuesto por los recursos natura-

les no renovables y la capacidad del ecosistema para absorber el impacto de las actividades humanas. De acuerdo al modelo del MIT el tope del crecimiento ocurriría en las primeras dos décadas del siglo XXI. El estudio fue acremente criticado, sobre todo por los economistas, que consideraban que una mayor eficiencia, nuevas tecnologías, así como "la mano invisible del mercado" se harían cargo de los problemas y la humanidad seguiría su camino hacia un futuro cada vez más prospero. Sin embargo la revisión de las predicciones de "Los límites del crecimiento" a 30 y 40 años de distancia de la primera publicación (Meadows et al., 2004; Bardi, 2011) han demostrado que el estudio del MIT estaba esencialmente en lo correcto. Además, después de la gran recesión de 2008, la economía global sigue en un estancamiento general con altas tasas de desempleo, deudas gigantescas y altos precios de todos los *commodities*, lo que hace pensar que hemos llegado al fin del crecimiento (Heinberg, 2011). ¿Cómo hemos llegado a esto?

## El pico del petróleo y la tasa de retorno energético

En condiciones de libre mercado y demanda creciente la producción de cualquier recurso finito sigue una curva en campana. La producción sube hasta un pico o cenit a lo que sigue el declive (Figura 2). Aunque en el momento del pico se tendrá todavía la mitad del recurso explotable, el inicio del declive representa un cambio importante que produce una carrera para asegurarse los recursos remanentes y una escalada de precios. En el caso del petróleo este comportamiento de la producción fue reconocido desde 1956 por King Hubbert, un geólogo de *Shell* quien pudo además predecir que el pico de la producción de Estados Unidos ocurriría entre 1970 y 1972 (Hubbert, 1956) (Figura 2). Además históricamente se ha demostrado que primero se descubren los yacimientos más grandes y se produce el recurso de mejor calidad (petróleo ligero, campos someros en tierra etc.) mientras que en la era del declive no sólo disminuye la cantidad de recurso sino también su calidad. El pico de la producción (*peak oil*) no significa entonces el agotamiento, pero significa haber consumido el petróleo de mejor calidad, el más fácil de extraer y, por ende, el más barato.

Figura 2:  
 Figura original del trabajo de Hubbert (1956) donde el autor predecía que la producción de Estados Unidos (sin Alaska) tocaría su pico a principio de los años 70. El área achurada de la primera parte de la curva indica la producción histórica de petróleo hasta 1956 y, el área con achurado más denso, la producción esperada con base en las reservas probadas hasta aquel entonces. Las curvas con línea interrumpida indican dos escenarios posible del comportamiento futuro. Los triángulos naranja representan la producción que efectivamente ocurrió.



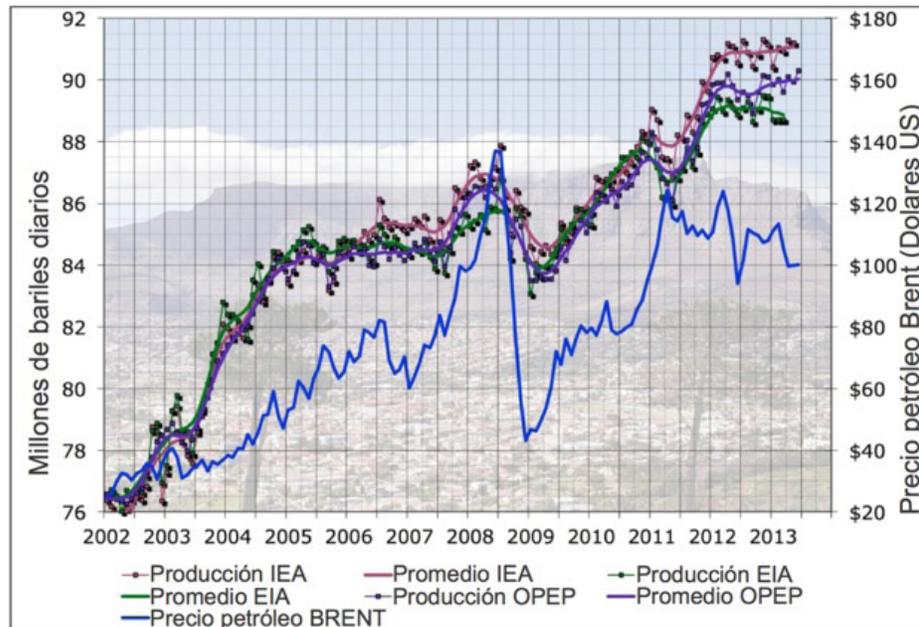
Predecir el pico del petróleo a nivel mundial implica conocer las reservas mundiales y la tasa de reposición de las reservas por nuevos descubrimientos, factores que no se conocen con precisión (Ferrari, 2013). Sin embargo el asunto crucial no es tanto la cantidad de petróleo y gas que está en el subsuelo sino cuánto recurso podemos extraer con una significativa ganancia energética. Para estimar este aspecto se ha desarrollado el concepto de tasa de retorno energético (*Energy Return on Energy Invested*, EROEI) que representa el cociente entre la cantidad de energía que obtenemos de una fuente de energía y la cantidad de energía que es empleada para producirla. Si la EROEI de un combustible es alta sólo una pequeña fracción de la energía producida tiene que ser utilizada para mantener la producción y el resto puede ser usada para alimentar la economía. Al contrario, cuando la EROEI va a la baja se tiene menos ganancia energética aun cuando la producción puede estar aumentando. Obviamente cuanto más la EROI se acerca a 1 menos conviene extraer el recurso. Estimaciones recientes (Hall et al., 2009) indican que la EROEI del petróleo y gas que se consumaba en Estados Unidos a principio del siglo pasado era de 100:1, en 1992 era de 26:1 y en 2006 de 18:1. Si esta tendencia se mantiene en las próximas tres décadas la EROEI para petróleo y gas llegaría a 1:1. En este caso, aunque hubiese buenas cantidades de petróleo y gas en el subsuelo no valdría la pena extraerlos ya que se gastaría más energía de la que se podría obtener de su producción. Sin embargo los estudios de Hall et al. (2009) demuestran que la sociedad incluso en su nivel más básico no puede funcionar con una EROI menor de 3:1 y que una tasa bastante más alta es necesaria para mantener una sociedad compleja que provea servicios de seguridad, educación y salud.

## El fin de la energía barata

Los primeros avisos de la fragilidad de un sistema altamente dependiente de los combustibles fósiles llegaron con los choques petroleros de 1973 y 1979 que fueron de naturaleza geopolítica mas que geológico-técnica. Estos eventos causaron un aumento importante del precio del crudo pero también una mejora en la eficiencia de los motores y una disminución de la demanda. Esto, aunado al descubrimiento y puesta en producción de los últimos campos petroleros gigantes (Alaska y Mar del Norte), produjo una baja importante del precio del petróleo. Por las siguientes dos décadas el crudo se cotizó entre 10 y 22 dólares por barril, permitiendo la última fase de la llamada globalización y el olvido de la lección de los setenta. Sin embargo a partir de 2002 el precio del crudo empezó a crecer nuevamente de manera sostenida (Figura 3). Este fenómeno fue predicho en 1998 por dos veteranos de la exploración petrolera: Colin Campbell, geólogo retirado de *British Petroleum*, y Jean Laherrère, ingeniero que trabajó por 37 años como consultor de *Total* (Campbell and Laherrère, 1998). Basados en un análisis de los descubrimientos y la producción de petróleo en el mundo, estos autores predecían que dentro de la siguiente década la producción mundial de "oro negro" no iba a poder satisfacer la demanda, generando un alza de los precios. En efecto, la producción global de petróleo que desde mediados de los años 60 había aumentado a un promedio de 2.1% por año, en 2005 empezó a estancarse, lo que hizo que el precio del barril casi se triplicara en menos de 3 años (Figura 3). Esto se debió a que los yacimientos gigantes de la mayoría

de los países productores empezaron a declinar entre finales de los años 90 y 2004 y los nuevos yacimientos que entraron en producción en unos cuantos países eran cada vez más pequeños (Figura 4). En la actualidad, de los 42 países que producen el 98% del petróleo a nivel mundial, 30 han rebasado su pico (Schindler y Zittel, 2008) y están en declive, incluyendo a México que tocó su pico en 2004 y cuya producción ha disminuido 26% desde entonces.

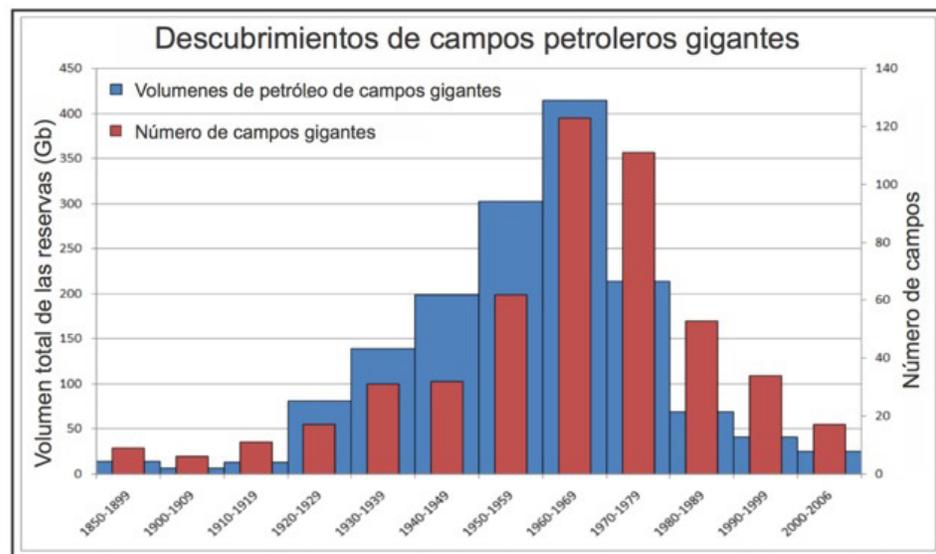
Figura 3:  
 Producción de petróleo  
 (escala a la izquierda) y  
 precio del petróleo de  
 referencia Brent (escala a la  
 derecha) en la última década.  
 Datos de producción según  
 la Agencia Internacional de  
 Energía (IEA), la Agencia  
 de Información de Energía  
 de Estados Unidos (EIA) y  
 la Organización de Países  
 Exportadores de Petróleo  
 (OPEP). Nótese que tanto la  
 escala de producción como  
 la de los precios no empiezan  
 en cero. Gráfica elaborada  
 por Stuart Staniford el  
 11/7/2013 <http://earlywarn.blogspot.mx/2013/07/monthly-oil-supply-graphs.html>



El incremento de la producción de 2005 a la fecha ha sido de un 0.4% anual, mucho más modesto que en las décadas anteriores. Este crecimiento marginal se debe esencialmente al llamado petróleo no convencional, constituido por el crudo de aguas profundas del Golfo de México y Brasil, el crudo pesado de Venezuela, las arenas bituminosas (*tar sands*) de Canadá y el petróleo y gas atrapados en formaciones geológicas de baja o nula permeabilidad (*tight oil y shale gas*) explotado en los últimos años en Estados Unidos. En muchos casos se trata de yacimientos conocidos pero inviables económicamente y difíciles de explotar con la tecnología anterior. Un precio del petróleo por encima de los 100 dólares por barril aunado a mejoras tecnológicas han hecho posible la explotación de este petróleo no convencional. Sin embargo, se trata de recursos de menor calidad que el petróleo convencional por lo que necesitan más energía para producirse y consecuentemente tienen una EROEI mucho más baja (Figura 5). Las arenas bituminosas necesitan transportarse con gigantescos camiones y ser calentadas con vapor, que se produce quemando gas; el petróleo de aguas profundas se extrae en condiciones extremas con pozos que alcanzan hasta 9,000 m de profundidad operados por plataformas flotantes; el petróleo ultrapesado es altamente viscoso y casi no fluye si no es calentado o diluido con hidrocarburos ligeros, además que pocas refinerías lo pueden procesar; las

*gas shales* y el *tight oil* se explotan por medio de miles de pozos horizontales y con un proceso de fracturación hidráulica masiva conocido como *fracking* que implica la inyección de agua en presión mezclada con arena y agentes químicos. Como en el caso del petróleo convencional, los mejores sitios (*sweet spots*) son perforados primero y una vez que se agotan la producción empieza a colapsar. Estudios recientes muestran que en sólo 3 años los pozos producen 80–95% menos que al principio y en cuatro de los cinco principales *plays* de E.E.U.U. la productividad promedio ha estado cayendo desde 2010 (Hughes, 2013). Todo lo anterior hace que el petróleo no convencional tenga costos de extracción de por lo menos 80-90 dólares por barril, lo que representa el precio mínimo del crudo para que los nuevos proyectos sigan desarrollándose.

Figura 4:  
 Volumen (escala a la izquierda) y número (escala de la derecha) de los campos petroleros gigantes descubiertos en cada década desde 1850 (Hook et al., 2009). Estos campos, capaces de producir más de 100,000 barriles diarios, proveen el 60-65% de toda la producción mundial. El pico de descubrimientos ocurrió en la década de los 60 y desde entonces los descubrimientos han sido cada vez menores.

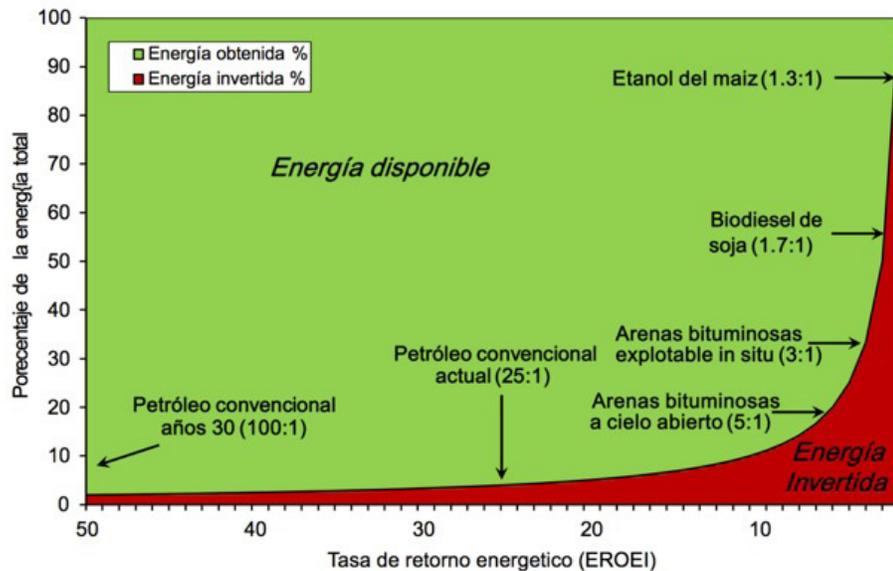


En el caso del *shale gas* en E.E.U.U. la producción acelerada ha provocado una baja del precio del gas que en los últimos dos años ha llegado a venderse por debajo del costo de producción, al punto que muchas compañías que llegaron tarde al negocio están perdiendo dinero, mientras que las que entraron al principio deben su ganancia más a la venta de las concesiones para la perforación que a la venta de gas. Por otro lado se ha documentado que la "fiebre" del *shale gas* ha sido conscientemente alimentada por los grandes bancos de inversión de Wall Street que han logrado grandes ganancias a través de maniobras especulativas de compraventa de acciones y con la venta y fusiones de compañías que se dedican a la explotación de este recurso (Rogers, 2013).

El uso de petróleo no convencional tiene además un impacto ambiental importante ya que se trata de recursos más sucios y que, al necesitar más energía para producirse, liberan más CO<sub>2</sub> en el atmósfera a paridad de energía producida. El proceso de *fracking* libera también metano, un gas de efecto invernadero más poderoso que el CO<sub>2</sub>. Finalmente los altos costos del petróleo están empujando a utilizar cada vez más

el carbón, que es un combustible aún más sucio y contaminante. En suma el alto precio económico y ambiental del petróleo no convencional y su baja ganancia energética sólo refuerza la idea de que estamos entrando en la segunda parte de la curva de Hubbert, caracterizada por el declive de la cantidad y calidad de energía fósil disponible, algo que ninguna medida económica puede evitar.

Figura 5:  
 Representación gráfica de la tasa de retorno energético (EROEI) de diferentes tipos de combustibles (modificado de Hughes, 2013). El área en rojo representa el porcentaje de energía necesaria para producir cada recurso que, en consecuencia, no puede ser utilizada. Los datos preliminares sobre las *gas shales* y *tight oil* indican que este tipo de combustibles tiene valores inferiores a las *tar sands*.



## Implicaciones económicas

El crecimiento de la economía global depende de manera casi lineal de un incremento en la demanda de petróleo. En las últimas tres décadas cada variación del Producto Interno Bruto mundial ha ido de la mano de una variación similar de la demanda de petróleo (Hirsch et al., 2008). Los altos precios del petróleo son los principales responsables del estancamiento de la economía global ya que el sistema económico dominante se ha basado en energía barata y en cantidades continuamente crecientes. Por otro lado el crecimiento continuo del sistema financiero internacional en los últimos 25 años se ha basado en el endeudamiento de los gobiernos, las empresas y los individuos.

En el corto plazo el riesgo más grave es la insolvencia de algunos de los países occidentales cuya deuda histórica se ha incrementado para rescatar a los bancos responsables de la crisis financiera de 2008. No estamos hablando de economías menores como Grecia, Irlanda o Portugal, sino de países como España, Italia, Japón y hasta Estados Unidos, cuya deuda soberana total (pública + privada) se acerca o rebasa ya su PIB anual. Estas deudas sólo pueden pagarse en un entorno de fuerte crecimiento económico que produzca un superávit fiscal (Tverberg, 2012). Sin embargo un crecimiento económico sostenido, en un mundo con una cantidad de energía limitada, lleva inevitablemente a altos precios del petróleo, que a su vez provocan una recesión.

No existen soluciones mágicas a este problema. Pero un primer paso es reconocerlo y dejar de apostarle a recursos caros, sucios y de corto plazo como el petróleo no convencional en lugar de soluciones de largo alcance como las fuentes renovables. En cambio deberíamos tratar de usar de manera más inteligente las reservas de petróleo que quedan en el mundo dejando de estimular el consumismo para redirigir la economía hacia las necesidades esenciales (educación, salud, seguridad alimentaria, protección del medio ambiente) e instrumentar la transición hacia una sociedad post-petrolera que debe necesariamente sujetarse a la menor disponibilidad energética que provén las energías renovables.

Foto:  
Alejandro Mejía Greene



## Bibliografía

- [1] BARDI, U. *The limits to growth revisited*. Springer, 119 p., 2011.
- [2] CAMPBELL, C., y Laherrere, J. *The end of cheap oil*. Scientific American, March: 78 83, 1998.
- [3] FERRARI, L.. *Energías fósiles: diagnóstico, perspectivas e implicaciones económicas*. Revista Mexicana de Física S, v. 59 (2), en prensa, 2013.

- [4] HALL, C. A., Balogh, S., and Murphy, D. J. *What is the minimum EROI that a sustainable society must have?* *Energies*, v. 2, p. 25-47, 2009.
- [5] HEINBERG, R. *The end of growth*. [en línea] New Society Publishers, 2011. Disponible en: <http://richardheinberg.com/bookshelf/the-end-of-growth-book>
- [6] HIRSCH, R.L. *Mitigation of maximum world oil production: Shortage scenarios*. *Energy Policy*, 36, 881–889, 2008.
- [7] HÖÖK, M., Hirsch, R., y Aleklett, K. *Giant oil field decline rates and their influence on world oil production*. [en línea] *Energy Policy*, v. 37, p. 2262-2272, 2009. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.020>
- [8] HUBBERT, M. K. *Nuclear Energy and the Fossil Fuels. Drilling and Production Practice*. Washington, American Petroleum Institute, p. 7-25, 1956.
- [9] HUGHES, J.D. *Drill baby drill. Can unconventional fuels usher in a new era of energy abundance?* [en línea] Post Carbon Institute, 166 p, 2013b. Disponible en: <http://shalebubble.org/drill-baby-drill/>
- [10] International Energy Agency (IEA). *World Energy Outlook, 2012 Edition*. [en línea] 431 p., 2012. Disponible en: <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2012/#d.en.26099>
- [11] MEADOWS, D., Meadows, D., y Randers, J. *Limits to growth: The 30-year update*. Chelsea Green Publishing, 2004.
- [12] TAINTER, J. A. *The Collapse of Complex Societies*, New York & Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1988. Disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=G0R09YzyuCI>
- [13] TVERBERG, G. *Oil supply limits and the continuing financial crisis*, *Energy*, v. 37, p. 27-34., 2012.
- [14] ROGERS, D. *Shale and Wall Street: Was the Decline in Natural Gas Prices Orchestrated?* [en línea] *Energy Policy Forum*, 2013. Disponible en: <http://shalebubble.org/wp-content/uploads/2013/02/SWS-report-FINAL.pdf>
- [15] SCHINDLER, J., Zittel, W. *Crude Oil – The Supply Outlook*. [en línea] Energy Watch Group / Ludwig-Boelkow-Foundation, 102 p., 2008. Disponible en: <http://www.energywatchgroup.org/Oil-report.32+M5d637b1e38d.0.html>