

Foto: EFDA

**“The sun will save us?  
No.  
Yet it obsesses.  
That huge,  
unquenchable source.  
Then it will save us  
From ourselves?”**

**Richard Rhodes.**

# La fusión nuclear, paradoja de la tierra prometida

**Palabras clave:** paradoja de Jevons, consumo energético, eficiencia energética, crecimiento sostenible, decrecimiento, superpoblación, emisiones de CO<sub>2</sub>, cambio climático, fusión nuclear.

**Key words:** Jevons paradox, energy consumption, energy efficiency, sustainable growth, de-growth, overpopulation, CO<sub>2</sub> emissions, climate change, nuclear fusion.

## Resumen:

Utilizando la paradoja de Jevons como hilo conductor se reflexiona en este artículo sobre el consumo creciente de energía, los frustrados esfuerzos por frenar esta tendencia y sobre las consecuencias que supondría para la humanidad el disponer –gracias eventualmente a la energía de fusión– por primera vez en la historia de una fuente de energía limpia, segura e ilimitada.

## Abstract:

Using the Jevons paradox as thread this article reflects on the growing energy consumption, on the failed attempts to curb this pattern and on the consequences brought upon humanity by the availability – thanks eventually to fusion energy – for the first time in history of an safe, clean and endless energy source.



**Rafael de la Calle Andrés**

Ingeniero Industrial del ICAI (1990) y MBA por la Universidad de Ginebra/HEC. Actualmente trabaja en Fusion For Energy.

Una nueva era podría estar empezando a dejar su huella en la Tierra. Una huella de, por el momento, 10.000 m<sup>2</sup> a 20 m de profundidad donde se está vertiendo el primer hormigón que dará forma a los cimientos del reactor ITER ([www.iter.org](http://www.iter.org)). La fusión termo-nuclear controlada tiene el potencial de cambiar el devenir de la Humanidad en mayor medida que su controvertida y más arriesgada pariente, la reacción de fisión, base del funcionamiento de los reactores nucleares que conocemos. Este artículo pretende analizar hacia dónde nos puede llevar la proeza técnica que supone domar la energía que alimenta el sol y las estrellas. Puede que nada vuelva a ser igual. Esta frase hecha, ambigua e incluso ominosa, ha de ser precisada: gracias a la energía de fusión la Humanidad podrá comprobar si el poder absoluto corrompe absolutamente.

Los gobiernos pretenden estimular la prosperidad y el crecimiento económico necesarios para el mantenimiento y mejora del estado de bienestar. Para que este desarrollo pueda ser combinado con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, deberíamos ser capaces de “desacoplar” el crecimiento de sus impactos ambientales. Sustentan las discusiones sobre el “desacoplamiento”, el progresivo descenso de la intensidad energética (energía utilizada por cada unidad del PIB), el hecho de que esta se haya reducido un tercio desde 1973 en los países desarrollados. Sin embargo, este “desacoplo parcial”

no ha ido acompañado de una disminución ni del consumo total de energía ni de la degradación medioambiental. El consumo global de energía crece más rápidamente que la población. El análisis se complica si se incluyen las emisiones de CO<sub>2</sub>, dado que estas varían significativamente entre países en función de la intensidad en carbono de cada mix energético.

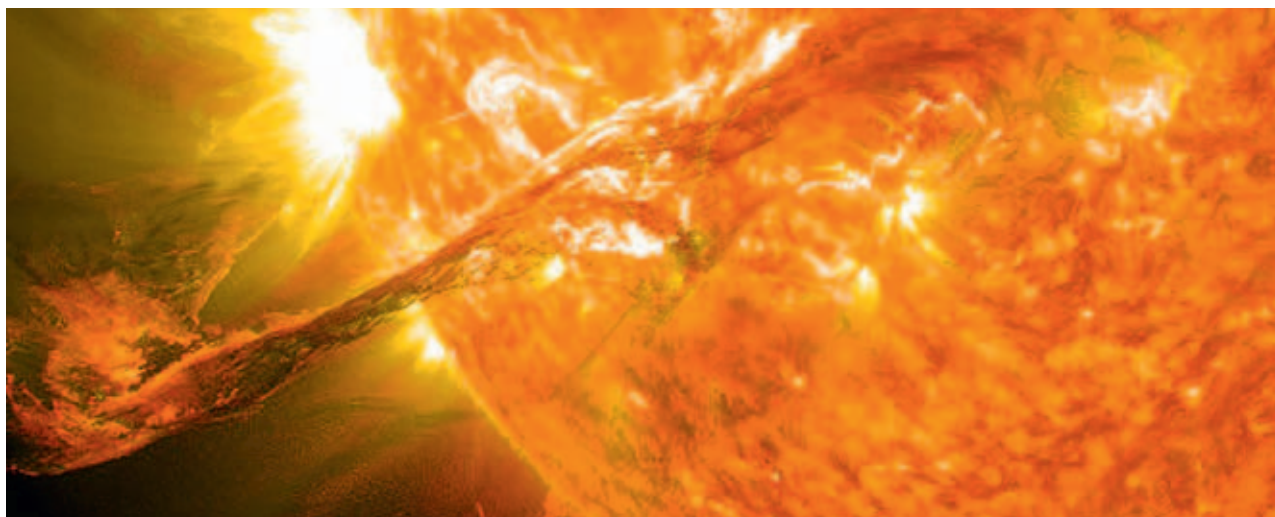
### “Efecto rebote”: incremento del consumo de energía

Por otro lado, la relación entre PIB y consumo energético es el objeto de una interesante controversia entre economistas. Los trabajos del economista Stanley Jevons –finales del siglo XIX– inician una línea de pensamiento donde se argumenta que aunque un aumento en la eficiencia energética pueda, sin duda, producir a nivel microeconómico una reducción en el consumo de energía, a nivel macroeconómico el efecto puede ser el contrario. La idea de la existencia de un “efecto rebote” no resulta intuitiva, de ahí que sea conocida como la “Paradoja de Jevons”. De hecho, aunque la evidencia histórica se corresponda con sus postulados, no ha sido posible demostrar su tesis.

Una mayor eficiencia energética significa una disminución del precio implícito de la energía. Este ahorro puede dar pie al reemplazamiento de otros factores de producción –ahora relativamente más caros– por energía y,

posteriormente, a la inversión del beneficio realizado en nueva capacidad de producción. La eficiencia energética como estímulo del crecimiento económico y del consumo de energía. La paradoja es inquietante: aumente usted el precio de la energía y comprobará como se estimula el ingenio humano hasta el punto de que las ganancias en eficiencia energética llegan a absorber la subida inicial de precios, llevando al consumo de energía a un punto de equilibrio superior al de su posición inicial.

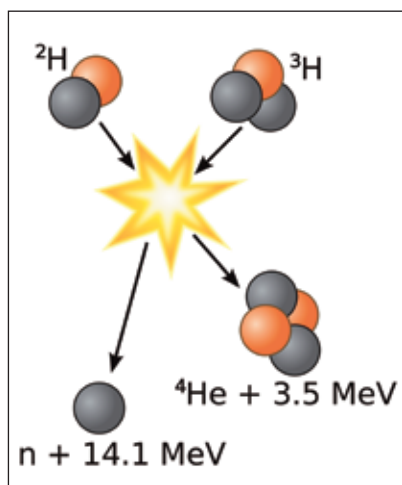
Por supuesto existen detractores de esta teoría, lo único demostrable es que ahorrar energía es ahorrar dinero. Los efectos de sustitución observados a nivel macroeconómico no se repiten a nivel micro en las pautas de consumo de particulares y familias, donde la demanda de bienes es relativamente inelástica. A nivel microeconómico es evidente que el ahorro obtenido, por ejemplo por una familia que invierte rentablemente en la eficiencia energética de su hogar, no va a ser necesariamente empleado en gastar menos en comida y más en energía simplemente porque esta sea ahora relativamente más barata. Veamos un ejemplo: no hay evidencias de que los propietarios de un Toyota Prius recorran el doble de kilómetros a pesar de que su nuevo coche consume la mitad que el anterior. De este modo sería posible obtener ahorros de energía en términos absolutos.



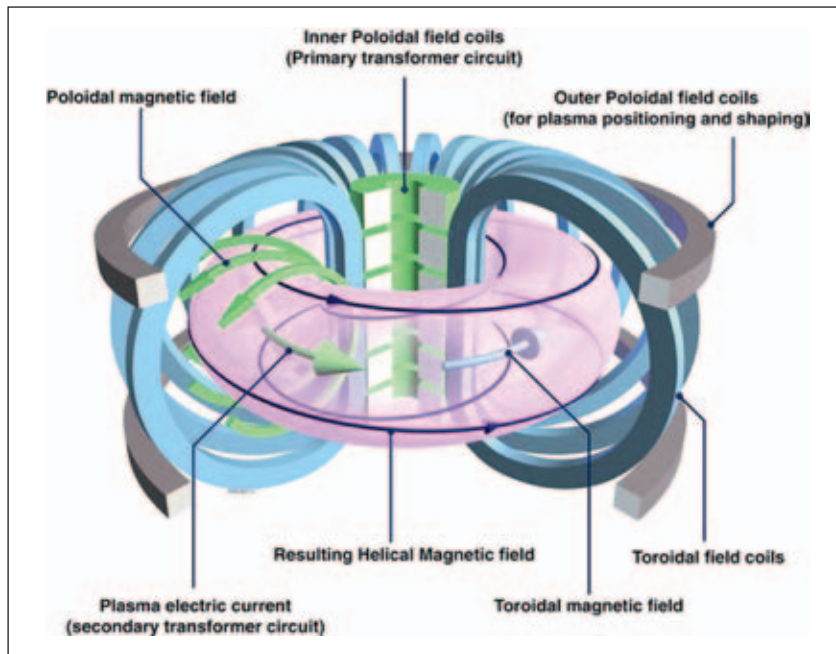
En el sol las reacciones de fusión se realizan a una alta temperatura y bajo unas enormes presiones gravitacionales. La menor fuerza gravitatoria de la tierra nos obliga a trabajar a temperaturas mayores.

Lamentablemente también sabemos que el número de kilómetros conducidos aumenta cada año. Y es que el efecto rebote a niveles globales parece que está ahí. Si la familia de nuestro ejemplo decide mudarse a un dúplex en las afueras –aprovechando el nuevo Prius– o acaso tener un hijo más, el efecto rebote superaría al ahorro. Como sabemos, el crecimiento exponencial de la población del planeta se inicia con la revolución industrial y todo el sistema se realimenta de todas las eficiencias que hemos introducido en el sistema desde entonces. ¿No será que el camino de la Entropía se está pavimentando con buenas intenciones?

En todo caso, ningún país desarrollado ha logrado combinar crecimiento y bienestar con una reducción del consumo de energía. Las mejoras en eficiencia las reinvertimos en más consumo. La civilización y la energía van de la mano. Mientras tanto, a falta de soluciones tecnológicas y del coraje necesario para tomar medidas intervencionistas de imprevisibles efectos, los gobiernos –y las empresas– siguen utilizando el cómodo señuelo de la eficiencia energética para maquillar la realidad. No estamos diciendo que los esfuerzos en eficiencia energética carezcan de valor –aumentan la productividad y hacen posible una mayor calidad de vida–, sino que no es la panacea que intuitivamente nos podría parecer. Abogar por la eficiencia no tiene ningún coste político, a diferencia de otras medidas que tienen un impacto en la actividad económica y que, por tanto,



La reacción de fusión nuclear. Es la energía de los neutrones liberados a 14.1 MeV la que buscamos.



En un reactor del tipo tokamak el plasma es confinado magnéticamente y las partículas del plasma giran trazando espirales sin tocar las paredes. (Fuente: EFDA).

requieren un sacrificio: establecer un techo máximo de emisiones, aumentar el coste de emitir  $\text{CO}_2$ , elevar el impuesto sobre la energía, invertir significativamente en energías renovables, afrontar el problema de la justicia energética, etc. No es sorprendente que nos hayamos escondido detrás de la eficiencia energética durante lustros. Pero al hacerlo hemos creado el problema que ahora tenemos que resolver.

En resumidas cuentas se trataría de una situación –el impacto del hombre sobre la Tierra– a largo plazo insostenible. Algunos de estos grupos –podríamos clasificarlos de optimistas– confían en puentear el efecto rebote que el desarrollo crea a nivel global recurriendo, una vez más, a la tecnología para abordar los problemas generados tanto por la demanda como por la oferta hasta asegurar un desarrollo sostenible. Por el lado de la demanda se trataría de, yendo más allá de mejoras incrementales en la eficiencia, implementar maneras radicales de mejorar la productividad de los recursos. Un posible ejemplo serían las casas pasivas con un reducido consumo energético. Por el lado de la oferta se confía en las energías renovables –eólica y solar– en combinación con sistemas de cogeneración y de almacenamiento de energía

para limitar las emisiones de gases de efecto invernadero sin tener que recurrir a la energía nuclear de fisión.

Otros –a los que tacharíamos de pesimistas– nos advierten de que la palabra crecimiento-sostenible es un oxímoron que no tiene cabida en un planeta de recursos limitados. Denuncian la falacia de una supuesta ecoeficiencia (coches verdes, empresas verdes, energía verde), mera fachada de mercadotecnia que quedaría en evidencia ante el no menos implacable que paradójico efecto rebote. La revolución industrial inauguró la era del crecimiento rápido, al que ya nos habríamos –ingenuamente– acostumbrado. Los economistas nos estarían adulando al explicar que este desarrollo se basaría en la innovación tecnológica, la división del trabajo y la liberalización del comercio mundial, cuando en realidad todo se asentaría principalmente en el consumo acelerado de energía barata. El agotamiento de estos recursos energéticos pondría fin al crecimiento económico tal y como lo hemos conocido.

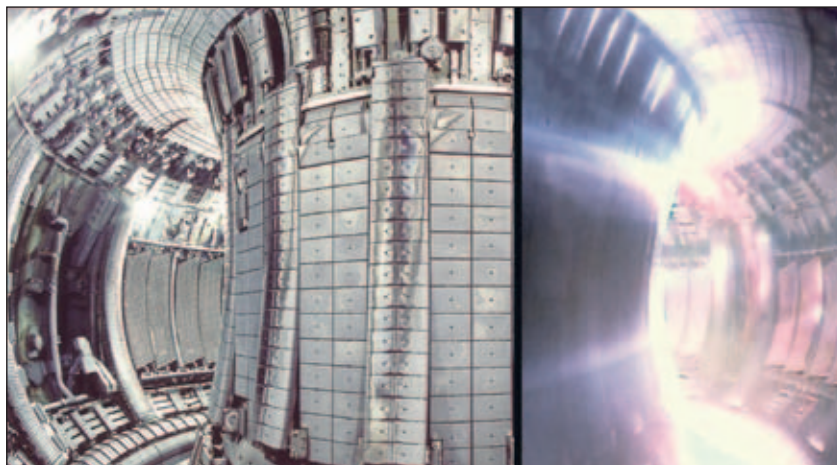
Para estos aguafiestas, la verdadera eficiencia habría que entenderla como un cambio en nuestras pautas de comportamiento por encima de unos avances tecnológicos que a pesar de las mejoras que suponen en eficiencia

no dejan de estimular el consumo. Se profesa el decrecimiento con la desconfianza en la tecnología como salvador de la Humanidad como telón de fondo. Y sus séqueles: la abstinencia de consumir; la austeridad, la búsqueda de la autosuficiencia local, el "Factor 4" (dividir nuestros niveles de consumo por dos para multiplicar por dos nuestro bienestar). Pero, ¿no tendría esta solución también su efecto rebote?, ¿no caeríamos en una recesión-depresión colectiva arrastrados por la perspectiva de un futuro gris impuesto en último término por una dictadura implacable?, ¿no estará el destino de la Humanidad ya definitivamente ligado a la democracia y la economía de mercado, dentro del El dorado que el desarrollo tecnológico nos ofrece, cualesquiera que sean las consecuencias?, ¿dónde estaría la gracia de no hacer; de no moverse, de ir a ninguna parte?

## Energía de fusión

En el artículo "God big fix", que cité al principio, Richard Rhodes escribió: "Cuando Hernán Cortés cabalgó dentro de Tenochtitlán en su brillante armadura sobre su increíble caballo, Moctezuma ya sabía que todo había terminado". Hace tiempo que la Humanidad —siguiendo la estela marcada por el capitalismo occidental— decidió cabalgar a lomos de la tecnología y la industrialización: "Lo hemos apostado todo, no a la profundidad, equilibrio y fuerza de nuestro espíritu, sino a la perfección y sutileza de nuestras máquinas" y a los placeres que nos proporcionan. Más aún, "la tecnología, igual que su predecesora, la evolución, no obedece más que a sus propias leyes": el camino que hemos iniciado no tiene vuelta atrás. Ya nadie escucha a los profetas del catastrofismo (contaminación, cambio climático, superpoblación, agotamiento de recursos, decrecimiento) porque no nos interesa pensar sobre el destino final de este camino que ya estamos recorriendo gusosos.

En este contexto un nuevo mesías redentor que nos llevará de la mano hasta el final del camino nos ha sido revelado: la energía de fusión. Una fuente de energía segura y limpia y sin emisiones de CO<sub>2</sub> capaz de satisfacer —por primera vez desde el descubrimiento



El reactor de fusión JET (UK) – El tokamak por dentro, con y sin plasma (Fuente: EFDA-JET).

del fuego— las necesidades energéticas de toda la Humanidad. Una energía cuyo combustible es el elemento más abundante sobre el planeta, el hidrógeno, mera agua que seguirá fluyendo por los ríos y mares hasta que el sol se extinga. Una energía obtenida a partir del agua en unos reactores tan sofisticados que bien podemos afirmar que extraeremos energía del puro conocimiento. Un milagro sin Dios que con independencia de nuestros pecados nos abrirá las puertas al paraíso del crecimiento y del consumo ilimitados cuando estas ya amenazaban con cerrarse.

Volviendo a Jevons y su paradoja, ¿cuál sería el efecto rebote que deberíamos esperar de una máquina de un rendimiento casi perfecto? Si el futuro nos depara toda la energía que deseemos cabría preguntarse si el uso indiscriminado de la misma tendría sus consecuencias o será el inicio de un mundo feliz y confiado. Se producirá más contaminación en calor como consecuencia de una mayor actividad humana, pero este calor podría ser radiado hacia el espacio si se convirtiese en un problema. Y en cuanto a la población, la implementación progresiva de una fuente de energía como esta, ¿no ayudaría a disminuir la mortalidad agravando el problema de la superpoblación y llevando el punto de equilibrio a un valor superior al actualmente estimado en 9 billones de personas en el año 2050?, ¿cuál es el límite?, ¿convendría anticiparse y limitar la natalidad siguiendo el modelo chino? O tal vez no, tal vez a más largo plazo la universalización del bienestar y del

hedonismo ayude a limitar automáticamente la natalidad, tal como ha ocurrido en los países con mayor consumo de energía per cápita, y tal como esperan los economistas que siguen trabajando con sus hipótesis de crecimiento económico ilimitado. La energía de fusión y el control voluntario de la natalidad aliados en alumbrar un mundo más humano, donde las personas no sean una mercancía (valor inversamente proporcional a la cantidad).

No he encontrado durante mi investigación respuestas a estas dudas. Tampoco Richard Rhodes, que se preguntaba si una vez que tengamos a nuestro servicio el Sol en la Tierra, ¿habrá terminado la evolución?, ¿seremos súper hombres?, ¿querremos serlo?, ¿lo compartiremos con los más desfavorecidos o se convertirá en un nuevo instrumento de poder, discriminación y xenofobia?

Quiero pensar en un futuro brillante para la Humanidad, iluminada por un reactor solar "cuyo corazón palpita a una temperatura tan alta que radia sin luz". ■

## Bibliografía

- [1] Jevons, William Stanley. *The Coal Question* (1865).
- [2] Rhodes, Richard. *God big fix* (1974).
- [3] Owen, David. *The efficiency dilemma* (2011).
- [4] House of Lords. Select Committee on Science and Technology Second Report. Session 2005-06. Chapter 3: *The economics of energy efficiency* 2005.