

# **Economía biofísica**

Jesús Ramos Martín

Publicado en

INVESTIGACIÓN  
**Y** CIENCIA

Junio 2012

Copyright © 2012 Prensa Científica S.A. Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista.

Jesús Ramos Martín es profesor del departamento de economía e historia económica de la Universidad Autónoma de Barcelona e investigador del grupo de Metabolismo de las sociedades del Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales del mismo centro.



## SOSTENIBILIDAD

# Economía biofísica

El flujo metabólico y otros conceptos procedentes de la ecología y la termodinámica ayudan a valorar si un sistema económico es o no viable

*Jesús Ramos Martín*

**L**A CRISIS ECONÓMICA ACTUAL ESTÁ PONIENDO DE MANIFIESTO LAS dificultades que tiene la ciencia económica para explicar procesos para los que en teoría debería ofrecer respuestas, como el desempleo crónico, la inflación o el crecimiento económico. Tanto los análisis que venimos observando últimamente, como las medidas de política económica que se recomiendan, parecen fallar de forma sistemática, para asombro no solo del público general, sino también de los propios economistas, que ven cómo las recetas que aprendieron en las facultades no funcionan.

El problema fundamental radica en que la ciencia económica predominante ha perdido el contacto con la base material del proceso económico; se ha centrado, casi de forma exclusiva, en analizar el funcionamiento de los mercados y el intercambio comercial. Esta visión se muestra incapaz de explicar el origen de algunos de nuestros problemas más graves y de ofrecer alternativas en términos de políticas públicas. Pone énfasis en el aumento de la producción económica (crecimiento) sin considerar la finalidad ni los costes del mismo. Olvida, pues, que el objeto del proceso económico no debe ser el aumento de la producción *per se*, sino la mejora en el disfrute de la vida. El fin de una economía corresponde a la reproducción de la sociedad,

de los seres humanos, de su cultura y de sus instituciones; para ello se necesita una serie de bienes y servicios, que se producen mediante la aplicación de trabajo humano y conocimiento a unos recursos naturales.

La economía predominante ha dejado de lado el análisis de elementos tan importantes como el tiempo (duración) y la escala (tamaño) de las economías, así como el funcionamiento de las mismas mediante la transformación de energía y recursos materiales. Ha ignorado, pues, el análisis de los flujos metabólicos, o metabolismo, de las sociedades. Algunas cuestiones clave no respondidas por esta visión económica centrada en los mercados son la función de los recursos naturales (y, en par-

### EN SÍNTESIS

**Centrada** solo en los mercados y el intercambio comercial, la economía imperante vive a espaldas de los límites que imponen los recursos del planeta.

**Esta pérdida de contacto** con la base material del proceso económico impide explicar el origen de algunos de nuestros problemas más graves y plantear alternativas viables.

**Mediante conceptos** procedentes de la ecología y la termodinámica, la economía biofísica ofrece una visión más completa del proceso económico y arroja luz sobre la crisis actual.

**Los consumos directos** (combustibles, electricidad) e indirectos (infraestructuras) de energía y recursos constituyen piezas clave —pero a menudo ignoradas— del rompecabezas económico.





## La visión marginalista

A mediados del s. XIX apareció en Europa una corriente que cambiaría el rumbo de la teoría económica. Nos referimos a la visión marginalista (o también denominada neoclásica). Según esta, el valor de los bienes se explica a partir de la psicología de los consumidores. Su ley fundamental, el «principio de la utilidad marginal decreciente», nos dice que la satisfacción lograda mediante el consumo de un bien aumenta con el incremento del consumo, pero lo hace a un ritmo menguante; es decir, que la utilidad que atribuimos a la última unidad consumida (utilidad marginal) será inferior a la de la penúltima. (Por mucho que nos gusten los helados, el placer que obtendremos al consumir un helado adicional será cada vez menor, porque nos iremos saciando.)

En ese escenario, un individuo consumirá unidades de un producto mientras la utilidad marginal, la satisfacción que le proporciona la última unidad consumida, sea superior al precio que paga por ella. Por otro lado, un empresario producirá unidades mientras el precio que recibe por ellas sea superior al coste marginal, el de producir la última unidad. El equilibrio del mercado se logrará cuando el precio del producto sea igual a la utilidad marginal y al coste marginal.

El giro conceptual que conllevó esa corriente hizo que el análisis económico se centrara en la optimización matemática, el intercambio de bienes y las situaciones de equilibrio —extrañas en el mundo real—. Estas premisas dominan todavía el pensamiento actual. Pensemos en los análisis de la evolución del precio del petróleo que aparecen a menudo en la prensa: obvia las variables biofísicas (disminución de las reservas, mayor coste energético de la extracción) y geopolíticas (acuerdos bilaterales entre países), y asumen que existe un mercado mundial de petróleo con precios únicos. Nada más lejos de la realidad.

ticular, la energía), la imposibilidad de mantener un crecimiento infinito o la paradoja del aumento en la eficiencia en el uso de los recursos.

Presentamos aquí un enfoque teórico alternativo, perteneciente al ámbito de la economía heterodoxa, que sí arroja luz sobre todas esas cuestiones. Nos referimos a la economía biofísica, que centra la atención en los procesos de producción de bienes y servicios (qué se produce, cómo se produce, para qué se produce y quién lo consume) y en los procesos de distribución de la renta (y, por tanto, del consumo de bienes materiales).

### RETROSPECTIVA

Según su fundador Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994), la economía biofísica (o economía ecológica, como también se denomina hoy) tiene como objeto analizar la relación entre el proceso económico y el medio. El proceso económico transforma recursos naturales en bienes y servicios para nuestro consumo, mediante la aplicación de mano de obra, conocimiento y maquinaria (capital). El análisis conjunto de este proceso y su repercusión sobre el medio permite estudiar la viabilidad de una tendencia determinada.

Ense enfoque biofísico hunde sus raíces en los trabajos pioneros de ciertos economistas y no economistas. Thomas Malthus (1766-1834) fue el primero en resaltar la aparente contradicción entre una población creciente y unos recursos naturales escasos, poniendo como ejemplo la tierra cultivable. Siguió este aná-

lisis William Stanley Jevons (1835-1882): en su clásico ensayo sobre la cuestión del carbón, de 1865, advirtió que las mejoras de la eficiencia en el uso de los recursos no eran suficientes para evitar el agotamiento de los recursos no renovables. La introducción del concepto de estado estacionario por parte de John Stuart Mill (1806-1873) significó un reconocimiento de los límites que la naturaleza imponía al desarrollo económico. Posteriormente, ello ha sido analizado por economistas ecológicos como Herman Daly, de la Universidad de Maryland, quien en 1990 propuso la distinción entre crecimiento (incremento cuantitativo en una escala física) y desarrollo (mejora cualitativa o realización de potencialidades).

Ese interés en las raíces biofísicas de la producción se perdió con el giro marginalista que protagonizó la economía en el siglo XIX [véase el recuadro «La visión marginalista»]. Los estudios pasaron a centrarse en el funcionamiento de los mercados y en la búsqueda del equilibrio en los mismos.

Ese enfoque que trivializaba los recursos naturales se vio reforzado tras las crisis del petróleo de los años 1973 y 1979. Las economías desarrolladas reaccionaron mediante la mejora de la eficiencia en el uso de los recursos, lo que amortiguó el aumento de precios de la energía. Sin embargo, eso no es aplicable a la situación actual. En las crisis de los años setenta, la caída de la demanda de energía provocada por el aumento de los precios del petróleo redujo los precios a medio plazo. Hoy, en cambio, la caída de la demanda de los países desarrollados se ha visto compensada por el aumento en el consumo de energía de los llamados países emergentes, con China a la cabeza.

### LA CUESTIÓN DEL TIEMPO

Adoptar un enfoque biofísico del proceso económico equivale a aceptar que la economía está sujeta a las leyes de la termodinámica y que su funcionamiento solo puede garantizarse por una entrada continua de energía y materiales.

La primera ley de la termodinámica, o principio de conservación, nos dice que la energía no puede ser creada ni destruida, sino que se conserva. Nos enseña, por tanto, que todos los elementos (*inputs*) usados en un proceso productivo se convertirán, a la postre, en una mezcla de productos finales y residuos. Ello reviste importancia porque destierra algunos mitos de la política ambiental como las virtudes de la incineración de residuos —no los hace desaparecer, solo los transforma.

La segunda ley, o principio de la entropía, constituye sin duda la pieza de la teoría termodinámica que más ha influido en el pensamiento económico. Esta nos dice que la entropía (una medida de la energía no disponible) de un sistema aislado tiende a un valor máximo. ¿Cuáles son sus implicaciones económicas? En primer lugar, este principio excluye la reversibilidad de un gran número de procesos. Así lo formulaba Rudolf Clausius en el siglo XIX: «El calor no puede nunca, por sí solo, ir de un cuerpo con baja temperatura hacia otro con alta temperatura». Ello significa que cualquier proceso natural resultará en un aumento de la entropía. Este resultado hizo que el astrónomo Arthur Eddington hablase, ya en el siglo XX, de la «flecha del tiempo», según la cual el aumento de la entropía determina la dirección del tiempo en el sentido evolutivo. Los procesos irían en una dirección temporal irreversible: del pasado al futuro, pasando por el presente.

A partir de esas ideas, Georgescu-Roegen presentó en 1971 su clásica distinción entre  $T$  y  $t$ , donde « $T$ » representa el Tiempo, concebido como una corriente de la conciencia, o si se quiere, como una sucesión continua de «momentos», y  $t$  representa

la medida de un intervalo ( $T'$ ,  $T''$ ) por un reloj mecánico». Es decir, el *Tiempo* como sucesión continua de momentos sería equivalente a la evolución, que no se detiene y que tiene una dirección concreta. El *tiempo*, en cambio, correspondería a un intervalo entre dos momentos de ese continuo evolutivo; es precisamente el que usamos al medir, por ejemplo, la producción de un país en un año (PIB).

La economía predominante elabora sus teorías y modelos a partir de un tiempo equivalente al que mide el reloj de Georgescu-Roegen, ese intervalo  $t$  donde la reversibilidad de los procesos es posible. Pensemos en los modelos que suelen emplearse para estimar el crecimiento económico o evaluar medidas políticas (una subida de impuestos, por ejemplo). Estos consideran que siempre puede darse «marcha atrás» (bajar los impuestos) para anular el efecto del mismo. Suponen que es posible revertir la situación sin provocar nuevas consecuencias. Ello, sin embargo, es poco realista. Por lo general, la adopción de cualquier medida económica conlleva efectos permanentes (una subida de impuestos puede provocar una reducción en el consumo, que no volverá a aumentar aunque las tasas bajen de nuevo).

Lo mismo sucede en cuanto a la vida y evolución de las especies y sociedades humanas, donde abundan los ejemplos de procesos irreversibles, como las extinciones de especies o el agotamiento de recursos naturales. Así lo muestran los trabajos de Jared M. Diamond, de la Universidad de California en Los Ángeles, y Joseph A. Tainter, de la Universidad estatal de Utah. Quizá se vea más claro en el ámbito tecnológico, donde la apuesta por una determinada técnica impide el cambio de la misma durante un número de años, por una simple cuestión económi-

ca. Una vez hecha la inversión, hay que amortizarla. (La adopción en su día de la tecnología termonuclear para la generación eléctrica implica que por un período de al menos cuarenta años esas centrales no podrán ser sustituidas, a pesar de que existan en el mercado opciones más eficientes, seguras o con menor impacto ambiental.)

Por tanto, desde la economía biofísica se considera que, en la generación de políticas, deben tenerse en cuenta los efectos permanentes asociados a ciertas decisiones (debidos a la irreversibilidad de los procesos) y proceder con cautela a la hora de aplicar medidas concretas. No podemos ignorar que los sistemas económicos se hallan en continua evolución.

## ESCALA O TAMAÑO DE LA ECONOMÍA

Otra implicación de la ley de la entropía guarda relación con la eficiencia. Según la paradoja de Jevons (también denominada efecto rebote), las mejoras de la eficiencia en el uso de los recursos pueden conllevar un aumento en el consumo, en términos absolutos, de dichos recursos. Por ejemplo, el aumento en la eficiencia energética de los automóviles no se traduce en una disminución del consumo de gasolina y, por tanto, de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino en un aumento de la distancia media recorrida. Lo mismo se observa en las infraestructuras de transporte, donde las circunvalaciones de las ciudades no reducen el tráfico, sino que lo aumentan, por lo que resultan necesarias sucesivas ampliaciones. En 2010, mientras realizaba el doctorado en economía aplicada en la Universidad Autónoma de Barcelona, Jaume Freire demostró, en un artículo publicado en *Energy Policy*, que la introducción de medidas de eficiencia

## EFICIENCIA Y CONSUMO

# La paradoja de Jevons

La introducción de la novedosa máquina de vapor de James Watt, más eficiente que un modelo anterior, redujo el consumo de carbón de ese ingenio. En principio, una buena noticia. Sin embargo, al ser esa máquina más rentable, rápidamente se implantó en sectores industriales que antes no la usaban. A la larga, el invento de Watt condujo a un aumento notable del consumo de carbón. Este efecto en apariencia contradictorio lo advirtió William Stanley Jevons (1835-1882) en su clásico ensayo sobre el carbón *The coal question* (1865). De ahí que reciba el nombre de paradoja de Jevons.

Según esta paradoja, también denominada efecto rebote, una mejora en la eficiencia de uso de un recurso no conlleva una disminución del uso total del mismo, sino un aumento de las actividades que lo consumen. Al aumentar la eficiencia en el uso se produce una caída del precio (o del coste) que induce un aumento en la demanda.

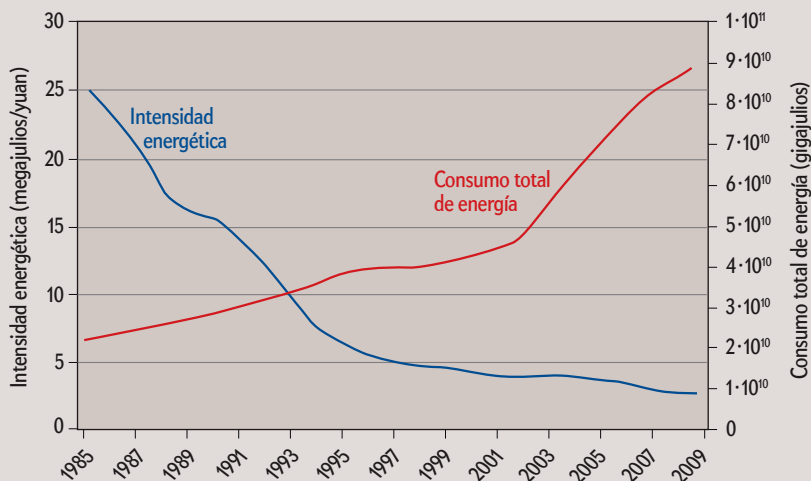
Un ejemplo clásico corresponde al aumento de la distancia recorrida por los coches conforme disminuye su consumo de gasolina por kilómetro. Otro, al aumento

de la capacidad de algunos electrodomésticos (refrigeradores) a medida que aumenta su rendimiento energético.

A mayor escala tenemos el caso de China, que entre los años 1985 y 2009 bajó su intensidad energética (cantidad de energía necesaria para producir una unidad de PIB) o, lo que es lo mismo, mejoró su eficiencia energética. Sin embargo, esta mejora fue

acompañada de un aumento en el consumo total de energía (gráfica).

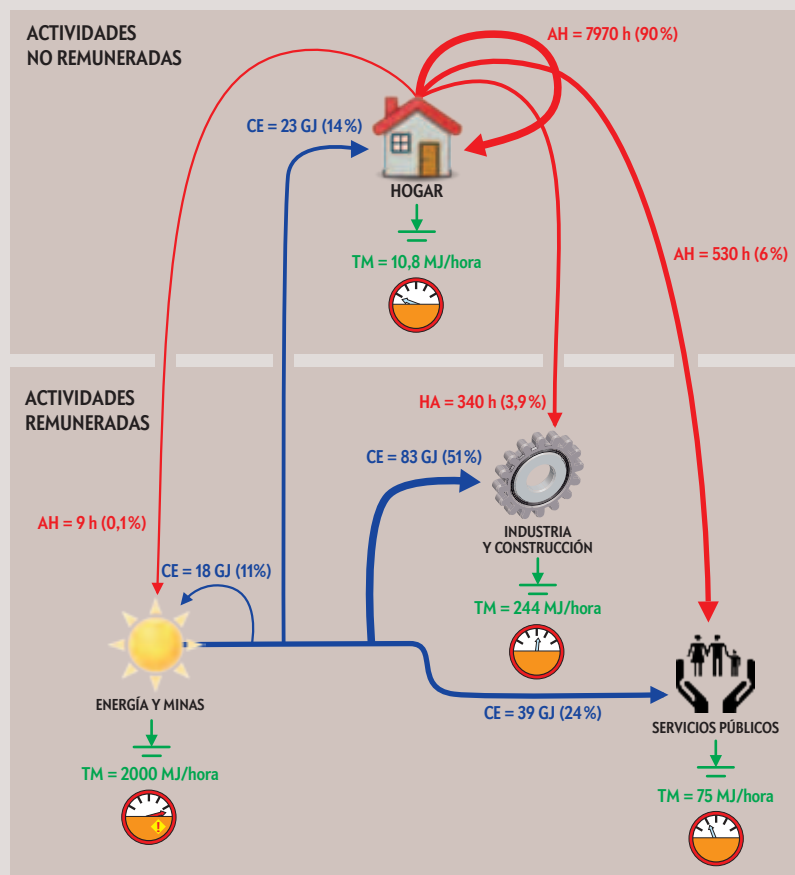
El resultado global es un aumento en el consumo total del recurso, a pesar de que se haga de manera más eficiente. Ello debería tenerse en cuenta en el diseño de políticas de eficiencia energética y de otros recursos, pues los beneficios potenciales de tales medidas nunca se realizan al cien por cien.



## ¿En qué gastamos el tiempo y la energía?

El conjunto de reacciones y procesos bioquímicos que permiten que un organismo mantenga sus funciones y estructuras corresponde al metabolismo endosomático. Cuando aplicamos este concepto biológico a las transformaciones de energía y materiales necesarias para la existencia y mantenimiento de una sociedad, hablamos de metabolismo exosomático (que tiene lugar fuera del cuerpo). Este enfoque biofísico arroja nueva luz sobre los procesos económicos, puesto que permite comprender la estrecha relación de estos con los sistemas naturales. Para analizar el metabolismo de una sociedad se define primero la estructura de agentes y actividades que la mantienen. En 2005 estudiamos en nuestro grupo de investigación el caso de Cataluña. Distinguimos entre dos grandes tipos de actividades: las no remuneradas y las remuneradas. Las primeras, relacionadas con el hogar, incluyen la actividad de la población no activa (niños,

jubilados y desempleados), más el ocio de los activos. Las segundas engloban los sectores de energía y minas, industria y construcción, y servicios y administraciones públicas. Se mide luego el tiempo de actividad humana asociada a cada sector (AH, rojo) y el consumo de energía correspondiente (CE, azul). Mediante la combinación de las dos variables, se obtiene para cada sector la tasa de metabolismo (TM, verde), que indica el consumo de energía (en megajulios, MJ) durante una hora de actividad. Según los resultados del estudio, el 90 % del tiempo disponible en la sociedad catalana se dedica a actividades no remuneradas. Con solo el 0,1 % del tiempo, el sector de energía y minas pone a disposición del resto de sectores toda la energía que gastarán, para lo cual consume el 11 % de la energía primaria; ello entraña una tasa metabólica altísima, de 2000 MJ/h. Cada sector presenta un comportamiento distinto.



Este tipo de análisis biofísicos sirven para que, una vez la sociedad haya determinado qué actividades considera imprescindibles, pueda establecerse una jerarquía de usos energéticos que permita afrontar situaciones de escasez creciente de la energía, ya sea por la oferta, por su elevado coste, o por ambos. Asimismo, a la hora de planificar un cambio en el modelo económico (mediante un aumento del peso de la industria, por ejemplo), el enfoque metabólico muestra cuál va a ser su impacto en términos de consumo total de energía del país y qué sectores pueden verse afectados en el caso de que se requiera un reajuste interno del consumo energético. Por fin, el cálculo de las tasas de metabolismo exosomático de los diferentes sectores permite establecer comparaciones con otras economías similares para analizar la viabilidad de nuestros modelos de desarrollo.

En promedio, a lo largo de un año cada ciudadano dispone de 8760 horas y consume 162 GJ, lo que representa un metabolismo exosomático de 18,5 MJ/h.

energética en los hogares de Cataluña tenía un efecto rebote del 49 por ciento a largo plazo. Es decir, que gran parte del potencial ahorrador de las medidas no se materializaba (el 49 por ciento de la energía ahorrada volvía a consumirse por otra vía).

Esas ideas son perfectamente compatibles con el análisis que presentó Alfred Lotka en 1922 acerca de la selección natural en el caso de los sistemas naturales. Según Lotka, la selección natural tiende, por un lado, a incrementar el flujo de energía que circula a través de los sistemas biológicos y, por otro, a aumentar la eficiencia energética de los procesos biológicos.

Si aplicamos esta visión a las economías modernas, veremos que estas aumentan cada vez más su consumo de energía y materiales, a pesar de que al propio tiempo aumentan la eficiencia en el uso de los mismos. Esto es exactamente lo que demostró en 2005 Óscar Carpintero, de la Universidad de Valladolid, para el caso del consumo de materiales en España, y lo que EUROS-TAT y la Agencia Internacional de la Energía nos dicen que ocurre en la gran mayoría de los países.

La economía biofísica reclama la importancia de considerar la escala o el tamaño de las economías. Para ello analiza el

consumo material de recursos naturales, los niveles de vida y la evolución de la población (tamaño y estructura), elementos que han sido olvidados durante largo tiempo por los economistas, incluso en los actuales momentos de fuerte crisis económica.

## EL METABOLISMO

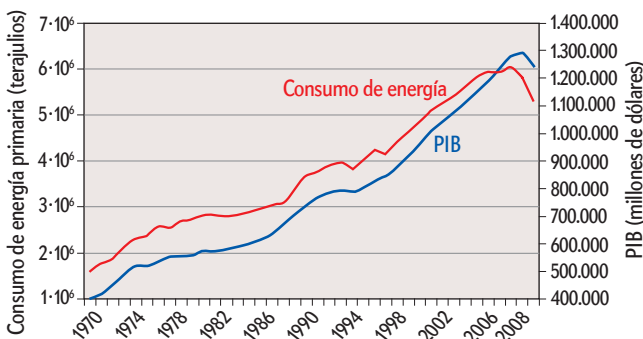
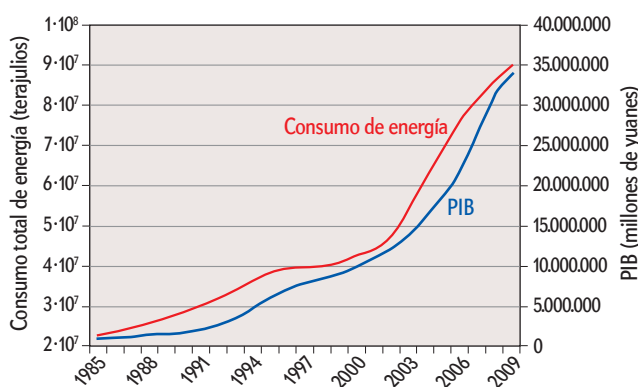
Si aceptamos la importancia de compatibilizar el tamaño y composición de nuestras economías con los recursos naturales del planeta, es preciso entender el modo en que utilizamos estos recursos (energía y materiales). Para ello resulta de gran utilidad aplicar a las sociedades el concepto biológico de metabolismo.

El metabolismo de una sociedad humana se corresponde con las transformaciones de energía y materiales necesarias para la existencia y el mantenimiento de la misma. La idea fue introducida por Georgescu-Roegen bajo el nombre de *flujo metabólico*. En su opinión, el proceso económico (producción y distribución de bienes y servicios) tenía un lado biofísico que debía ser analizado pero que solía obviarse debido a la fijación de los economistas por el análisis de los mercados y el intercambio comercial. A partir del trabajo de Lotka, Georgescu-Roegen introdujo los conceptos de metabolismo endosomático y metabolismo exosomático para diferenciar las transformaciones de energía y materiales que tenían lugar dentro del cuerpo humano de las que ocurrían fuera del mismo. Así, el metabolismo endosomático estaría relacionado con la alimentación y el exosomático con el resto de la energía consumida en nuestras actividades diarias, como la electricidad o el combustible de los automóviles.

Aplicar la metáfora metabólica permite enfatizar que el proceso económico depende de la existencia, en el medio, de los recursos naturales necesarios para producir y consumir. O, en otras palabras, que los sistemas sociales dependen de los sistemas naturales para su supervivencia.

El metabolismo de una economía se compone del flujo metabólico de los agentes implicados (sectores económicos, hogares, etcétera), cada uno de los cuales realiza una función necesaria para el mantenimiento de todo el sistema. Mantener esta estructura de agentes y funciones requiere el consumo de recursos naturales. Nuestras sociedades modernas proveen a los ciudadanos de educación, sanidad, seguridad y otros servicios. La realización de estas funciones no solo conlleva el consumo directo de recursos (la calefacción de las aulas), sino que arrastra todo un uso de energía y materiales que han sido necesarios previamente (formación del profesorado, fabricación del material escolar, construcción de los edificios). Por tanto, a cada actividad le corresponde un perfil metabólico. Una hora de educación tiene un consumo de recursos diferente al de una hora de atención sanitaria en un hospital o una hora de servicio de seguridad aportada por un policía. Ello explica que las sociedades menos desarrolladas, y con menos funciones, presenten niveles de consumo inferiores.

A la hora de evaluar de manera cuantitativa la viabilidad y deseabilidad de un modelo de desarrollo concreto, en realidad estamos estudiando el perfil metabólico del sistema. Para ello, primero debemos caracterizar su estructura, funciones y compartimentos. Esto lo hacemos mediante el análisis de los flujos de materiales y energía necesarios para mantener las estructuras ya existentes y crear otras nuevas, y para garantizar algunas funciones básicas. De esta manera podemos determinar el coste de cierta función (producción de alimen-



**El crecimiento económico** guarda una estrecha relación con el aumento del consumo energético. En China (*arriba*), donde se ha trasladado gran parte de la producción mundial, se observa que el producto interior bruto (PIB) ha crecido junto con el consumo total de energía. En España (*abajo*), la relación entre actividad económica y gasto energético es todavía más clara.

tos, atención sanitaria, educación, seguridad) en términos de energía y materiales: su *perfil metabólico*. Además, cada una de estas actividades precisa vectores energéticos diferentes. El policía del ejemplo anterior usará gasolina en su hora de trabajo, mientras que el médico o el profesor emplearán gas natural para la calefacción y electricidad para el resto de las tareas. Por tanto, cada actividad requiere una determinada fuente primaria de energía.

Ese análisis permite establecer prioridades en el uso de los recursos naturales. En un contexto de escasez creciente y de aumento de costes de la energía, será más razonable concentrar el uso de los recursos en aquellas actividades más directamente relacionadas con el mantenimiento de las sociedades (agricultura, minería, industria y servicios básicos) y reducirlo en las actividades más suntuarias (viajes de ocio, entre otros).

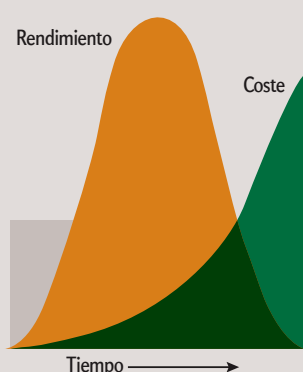
Una vez determinadas las funciones básicas que definen nuestra sociedad —o nuestro objetivo de sociedad— y analizado su perfil metabólico, podemos comprobar si ese consumo de energía y materiales entra en contradicción o no con la disponibilidad de recursos que se hallan en el medio y con el mantenimiento de los sistemas naturales y sus respectivas funciones, que también requieren el consumo de energía y materiales. Es decir, el análisis cuantitativo de la sostenibilidad de un modelo de desarrollo debe estudiar la compatibilidad entre el metabolismo exosomático de las sociedades y el metabolismo de los ecosistemas.



## El retorno de la inversión energética

Aunque el rendimiento de un pozo de petróleo sigue una forma de campana, su coste de extracción aumenta con el tiempo. Este balance entre coste y beneficio se refleja en la tasa de retorno energético: la razón entre la cantidad de energía aprovechable que se extrae y la energía que se requiere para extraerla. Cuanto mayor es esa razón, de mayor calidad es la fuente energética. Dado que la importación de petróleo tiene una tasa de retorno mayor que la extracción, los países industrializados prefieren importar la energía de otros lugares.

Las reservas de petróleo suelen darse en sus valores brutos. Pero lo que nos interesa conocer es la cantidad de energía neta que llega a la sociedad. En EE.UU., la tasa de retorno de la extracción ha pasado de 1229,48 en 1919 a 5,02 en 2007. Cada vez se requiere más energía para obtener un barril de petróleo. Ello significa que cada vez vamos a necesitar más energía primaria para poner a disposición de la sociedad una determinada cantidad de energía neta.



### EL CRECIMIENTO ECONÓMICO

Una perspectiva biofísica que considere los tres conceptos presentados (el tiempo como duración, el tamaño de la economía y el metabolismo exosomático de las sociedades) permite analizar el crecimiento económico y entender no solo sus limitaciones en cuanto a los *inputs*, sino también sus impactos.

La actual crisis económica se manifiesta en la mayoría de los países ricos en forma de caída del producto interior bruto (PIB), una medida de la actividad económica. En España, ello se traduce en una fuerte destrucción del empleo. Esta situación ha desembocado en que prácticamente desde todos los ámbitos se defienda el crecimiento económico como única manera de paliar la situación. La idea de fondo es que el crecimiento provoca un «goteo» que beneficia a todos los estratos de la sociedad, lo que evita tener que pensar en políticas de redistribución de la renta. Este discurso se basa en el supuesto de que el crecimiento económico es posible y en la creencia de que puede ser indefinido.

Sin embargo, debemos tener en cuenta que la evolución de los sistemas, incluidos los económicos, va íntimamente ligada al consumo de energía y recursos. Numerosos análisis, como los de David I. Stern, de la Universidad Nacional de Australia, muestran una estrecha correlación entre el crecimiento económico y el consumo de energía primaria. En el pasado, cuando la disponibilidad de energía ha dependido de los recursos renovables y se ha usado básicamente biomasa, el crecimiento de las economías (y de su población) ha sido más bien escaso. Así lo mostraba E. A. Wrigley en su libro de 1988 *Continuity, chance and change*. En las economías modernas, más del 80 por ciento de la energía primaria corresponde a los combustibles fósiles y las

sociedades dependen de ese flujo continuo de energía, que hasta hace poco era muy barata.

Las sociedades actuales requieren para su funcionamiento un consumo determinado de energía y materiales. La estructura de las mismas depende, por tanto, de la disponibilidad energética. Ello significa que no se puede pretender reducir el consumo de energía de forma brusca, sin esperar cambios estructurales igualmente drásticos (en sanidad, educación, sistema judicial, seguridad, etcétera). También quiere decir que si el objetivo de la política económica es mantener el sistema y hacerlo crecer en el tiempo, deberá garantizarse un flujo cada vez mayor de energía, con las posibles consecuencias ambientales que ello pueda entrañar.

Esa estrategia no ha supuesto problemas graves hasta hoy, porque la energía fósil era abundante y, por ende, barata. Pero era abundante porque su consumo se centraba en las economías occidentales. En la actualidad, sin embargo, se ha trasladado gran parte de la producción a los países emergentes (sobre todo China), lo que ha conllevado aumentos notables del consumo energético en aquellos países. La industrialización requiere maquinaria y conocimientos, y estos a su vez consumen energía y otros recursos. Ello significa que la demanda de energía a nivel mundial no deja de crecer (en línea con el crecimiento del PIB), justo cuando se está manifestando un fenómeno bien conocido en el marco de los recursos no renovables, el cenit del petróleo, introducido en 1956 por Marion King Hubbert, geólogo y ex director de exploraciones de la petrolera Shell [véase «Fin de la era del petróleo barato», por Collin J. Campbell y Jean H. Laherrère; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, mayo de 1998 y «Los límites del crecimiento tras el cenit del petróleo», por Charles A. S. Hall y John W. Day, Jr.; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, octubre de 2009].

Si la demanda de energía sigue aumentando y la disponibilidad de recursos disminuye, la consecuencia lógica es que los precios del petróleo y el resto de los combustibles fósiles continúen la senda alcista que muestran desde el período 2004-2005. Este fuerte incremento de precios no es la causa —pero no debe desligarse— de la actual crisis económica, de origen financiero. En España, las importaciones netas de combustibles fósiles suponen dos tercios del déficit de la balanza por cuenta corriente (un parámetro que mide las necesidades de financiación del país). Si existe un déficit, debemos financiarnos en el exterior para poder mantener nuestra actividad económica y nivel de vida. Por tanto, el déficit se debe en su mayoría a nuestra dependencia energética del exterior. Si esto es así, y los precios del petróleo van a seguir subiendo, la factura energética del país no dejará de crecer, y con ella nuestra necesidad de financiación, como bien muestran los estudios de José Manuel Naredo, de la Universidad Complutense de Madrid.

Así pues, el escenario futuro muy probablemente exigirá la reducción del consumo energético a niveles que sea posible financiar, lo que conllevará una caída del PIB. Es decir, la reducción y el encarecimiento de la disponibilidad energética provocarán cambios en la estructura de las sociedades. No podrán mantenerse todas las funciones que hoy en día se llevan a cabo, por lo que deberán aplicarse políticas de priorización en el uso de los recursos (sobre todo la energía) que tengan en cuenta todos los miembros de la sociedad.

### ¿SOLUCIONES?

Lo planteado hasta aquí no es nuevo en el mundo académico, al menos dentro de la economía biofísica. El problema estriba en que el discurso dominante en las universidades y los ámbi-



tos de decisión es otro, centrado en el análisis de los mercados y con el equilibrio de los mismos en mente. Por eso algunas de las soluciones que se proponen no lo son.

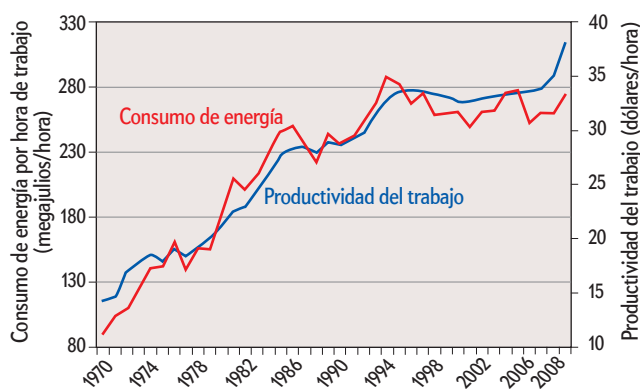
Se dice, por ejemplo, que la pérdida de tejido industrial no constituye un problema, pues las economías modernas tienden hacia el desarrollo de los servicios. Sin embargo, este argumento adolece de un fallo grave: supone que los servicios son inmateriales o que, al menos, consumen menos recursos. En primera instancia, ello es cierto. Los servicios entrañan un menor consumo directo de recursos que la industria (el ordenador con el que he escrito este artículo gasta menos energía que la maquinaria que utiliza un empleado en una fundición). Pero también es verdad que la existencia de muchos de esos servicios solo es posible porque la sociedad ha llegado a un grado de complejidad tal que necesita que actividades que antes se asumían en el entorno familiar se encuentren ahora en el mercado. Es decir, es el grado de desarrollo —con el consumo de energía que ello implica— el que hace que surjan «nuevas oportunidades de empleo» (por ejemplo, en el ámbito de los cuidados personales). Pero además, la provisión de esos servicios requiere una formación que solo ha sido posible mediante el consumo de recursos a lo largo de la vida de quienes nos proveen de los mismos. El resultado es que, si bien los servicios consumen menos recursos, solo son posibles si la sociedad tiene ya un determinado tamaño que le ha permitido invertir en ellos. Por tanto, en un escenario futuro con menos recursos energéticos, deberán rediseñarse los tipos de servicios que la sociedad podrá ofrecer a los ciudadanos.

Otra de las soluciones que se plantean se basa en aumentar la productividad del trabajo (el valor, medido en euros, que producimos en una hora de trabajo); en teoría, ello nos permitirá trabajar menos o utilizar los recursos de una manera más eficiente. Desde una perspectiva biofísica, podemos dar dos tipos de respuesta. Por un lado, es cierto que el aumento de la productividad laboral puede conllevar una reducción del tiempo de trabajo. Pero con una condición: que aceptemos mantener nuestro nivel de consumo. La paradoja de Jevons nos enseña que los aumentos de eficiencia no se materializan al cien por cien. Cuando se produce un aumento de la productividad, lo más frecuente no es que se reduzca el tiempo de trabajo sino que crezcan los ingresos, lo que se traduce en un mayor consumo. Estudios recientes de nuestro grupo de investigación indican que el consumo de energía en nuestro tiempo de ocio está aumentando por encima de lo que aumenta el consumo total.

Asimismo, para evitar cuestionarnos la necesidad de reducir nuestro consumo en un contexto de escasez creciente de recursos, suele defenderse que las mejoras en la productividad del trabajo permitirán producir lo mismo con menos tiempo y menos recursos. El problema es que estas mejoras de productividad requieren la aplicación de tecnologías que entrañan un aumento del consumo de energía por hora trabajada. Por tanto, si en el futuro la energía escasea y su coste es prohibitivo, ya no podremos aumentar la productividad tan fácilmente. No habrá más remedio que reducir nuestros niveles de consumo.

### CAMBIOS NECESARIOS

La economía ecológica se halla en una posición minoritaria en las facultades de ciencias económicas. Ello explica el nacimiento de varias iniciativas académicas, como el movimiento de la economía post-autista surgido en la Sorbona en 2000 o la Asociación de Economía Crítica en España. Estos colectivos criti-



**Un aumento en la productividad del trabajo no nos permitirá zafarnos de la dependencia respecto a la energía, pues precisamente estos aumentos entrañan un mayor uso de energía por hora de trabajo. Las reducciones del consumo energético deberán venir de reestructuraciones sociales que incluyan cambios en el modelo de desarrollo y los patrones de consumo.**

can la idea generalizada, y reforzada todavía más durante la presente crisis económica, de que solo hay una visión de la economía y del proceso económico. Asimismo, denuncian el excesivo énfasis que confiere la economía actual a los instrumentos matemáticos a costa de las teorías económicas alternativas y de la enseñanza de la historia económica. Es necesario que vuelvan a explicarse en nuestras universidades otras visiones del proceso económico, visiones que recuperen el interés por el proceso de producción y de distribución de bienes y servicios, no solo por el funcionamiento de los mercados.

Ese cambio en el mundo académico dotaría de mayor realismo a la enseñanza impartida en la universidad, lo que redundaría, a su vez, en una mayor flexibilidad de nuestros futuros economistas ante posibles eventualidades. Al ver el proceso económico desde el lado no solo monetario sino también biofísico, se podrían constatar mejor las repercusiones ambientales (en el uso de recursos y en la emisión de contaminantes) y sociales (uso del tiempo, distribución de la renta) de los diferentes escenarios de desarrollo o de las distintas políticas.

### PARA SABER MÁS

**La ecología y la economía.** J. Martínez Alier y Klaus Schlöppmann. Fondo de Cultura Económica, México, 1991.

**La ley de la entropía y el proceso económico.** N. Georgescu-Roegen. Fundación César Manrique, Lanzarote, 1996. Disponible en: [www.fcmanrique.org/publicaciones/publicacion=107](http://www.fcmanrique.org/publicaciones/publicacion=107)

**El metabolismo de la economía española.** O. Carpintero. Fundación César Manrique, Lanzarote, 2005. Disponible en: [www.fcmanrique.org/recursos/publicacion/elmetabolismo.pdf](http://www.fcmanrique.org/recursos/publicacion/elmetabolismo.pdf)

**On China's exosomatic energy metabolism: an application of multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM).** J. Ramos-Martin, M. Giampietro y K. Mayumi, *Ecológica Economics*, vol. 63, págs. 174-191, 2007.

**Catalonia's energy metabolism: using the MuSIASEM approach at different scales.** J. Ramos-Martin, S. Cañellas-Boltà, M. Giampietro y G. Gamboa en *Energy Policy*, vol. 37, págs. 4658-4671, 2009.

**The metabolic pattern of societies: Where economists fall short.** M. Giampietro, K. Mayumi, A. H. Sorman. Routledge, 2011.

Grupo de Investigación de Metabolismo de las Sociedades de la Universidad Autónoma de Barcelona: [www.societalmetabolism.org](http://www.societalmetabolism.org)  
Asociación de Economía Ecológica en España: [www.ecoeco.es](http://www.ecoeco.es)  
Red Iberoamericana de Economía Ecológica: [www.redibec.org](http://www.redibec.org)