



¿Hay límites en las energías renovables? Una visión de arriba a abajo

Pedro Prieto

La producción de biomasa en el planeta es evidentemente renovable. Sin embargo, John Perlin en su libro "Historia de los bosques"¹ nos recuerda que de los 62 millones de km² de bosque original en el mundo, hemos pasado a disponer solamente de 33 millones de km². Y que el ritmo de destrucción de los mismos por parte de los seres humanos en la actualidad es pavoroso: aproximadamente del 1% anual neto.

Es el ejemplo más evidente de que algo renovable deja de serlo si el ritmo de explotación de ese recurso es superior a aquél con que la Naturaleza repone dicho recurso.

Hoy cultivamos más del 12% de la superficie de todos los continentes y el ritmo que últimamente imponen los cultivos energéticos o agrocombustibles (para alimentar los estómagos de las máquinas) acaba de alcanzar la superficie de España (500.000 km²) y crece a una preocupante velocidad, a pesar de su constatada baja tasa de rendimiento energético.

En cuanto a los embalses, los seres humanos hemos ocupado el 25% de las grandes cuencas fluviales del planeta, bien sea para cultivos o bien para la producción de hidroelectricidad. En algunos continentes como el europeo, hemos llegado a ocupar más del 80% de las cuencas técnicamente aprovechables, generalmente con grandes embalses que anegan permanentemente los valles más fértiles. Estamos en un proceso en el que capturamos y utilizamos 5.000 km³ de agua dulce anuales de los 9.000 km³ que se suponen accesibles y disponibles para el ser humano.

Toda esta gigantesca actividad en torno a la captación de energía que se supone renovable representa, sin embargo, poco más del 10% de nuestro consumo de energía primaria mundial con origen en la biomasa (incluyendo en ella la alimentación humana y de los animales domesticados a nuestra disposición) y un 3% en producción de energía hidroeléctrica.

Hasta hace relativamente poco tiempo, los seres humanos jamás habíamos pensado que la Naturaleza pudiese tener límite en la entrega de sus recursos renovables. No lo percibieron tampoco la mayoría de los marxistas en el siglo XIX y todavía en el XX y XXI. Marx ignoró este concepto ante las dudas de Engels sobre los comentarios que les enviaba Sergei A. Podolinski², un precursor de la economía ecológi-

ca advirtiendo de esos límites para considerar en cualquier estudio serio.

Eran desde luego otros tiempos, en los que se venía de una sociedad agrícola en la que la Naturaleza y su entorno eran el objetivo a dominar y a batir para su aprovechamiento. Era el principio del maquinismo, quedaba mucho mundo por descubrir, aunque ya se conocía perfectamente su finitud, por su esfericidad. La explotación de los combustibles fósiles, para su aprovechamiento energético masivo, apenas estaba en sus comienzos.

Fue precisamente el agotamiento de muchos grandes bosques europeos en Inglaterra o en España para el esfuerzo de la conquista y explotación del nuevo continente, lo que había movido a los seres humanos a la búsqueda de energía en el subsuelo por primera vez. Lo consiguieron con gran éxito, aunque al principio la explotación del carbón en su primera etapa no fuese muy aceptable para la fundición de metales por sus contenidos e impurezas.

Desde entonces, hemos asistido a un impresionante desarrollo tecnológico y de consumo de energía.

El mundo consume hoy unos 12.000 millones de toneladas de petróleo equivalente (MTpe) al año; eso son unos 510 Exajulios (10¹⁸ julios) en otro formato o el equivalente a la energía que consumiría una potencia instalada de unos 17 Teravatios (10¹² vatios) con el mix que aparece en la figura 1. En ella se observa que el carbón superó al consumo de biomasa en el mundo en apenas 60-80 años desde que se empezó a utilizar como combustible, en la primera gran transición energética.

El petróleo empezó a utilizarse algo después que el carbón, cuando se desarrollaron los motores Otto y Diesel. Y también tuvo un ascenso fulgurante, de forma que superó hacia los años 60 del siglo pasado los volúmenes de biomasa y de carbón en apenas otros 60-80 años, en la segunda gran transición mundial de un sistema energético a otro.

Las razones de estos cambios fueron por un lado la necesidad (el agotamiento de las reservas de leña en muchos lugares) y por otro, la mejor densidad energética (más energía por kilo o litro) de estos nuevos combustibles del subsuelo terrestre, una mayor versatilidad de uso y una gran adaptación a su uso en máquinas muy variadas, que incluían la posibilidad de generar energía eléctrica en grandes cantidades; una energía de alta calidad, muy limpia en destino y con múltiples aplicaciones lumínicas, térmicas o para realizar movimientos y trabajos muy variados con máquinas muy diversas.

El gas natural, el tercer gran combustible hidrocarburo, no ha podido desbancar al petróleo como combustible rey en volumen o aporte energético, a pesar de que ya se lleva explotando desde hace más de un siglo. Es cierto que

¹ *A Forest Journey. The Role of Wood in the Development of Civilization.*

² *Selected letters 1846-1895 New York. International Publishers. 1942 Vol. 29. Cartas 182 y 183 de Engels a Marx. Citado por Joan Martínez-Alier en Ecological Economics: Energy, Environment and Society, Oxford Basil Blackwell 1987. Pag 62.*

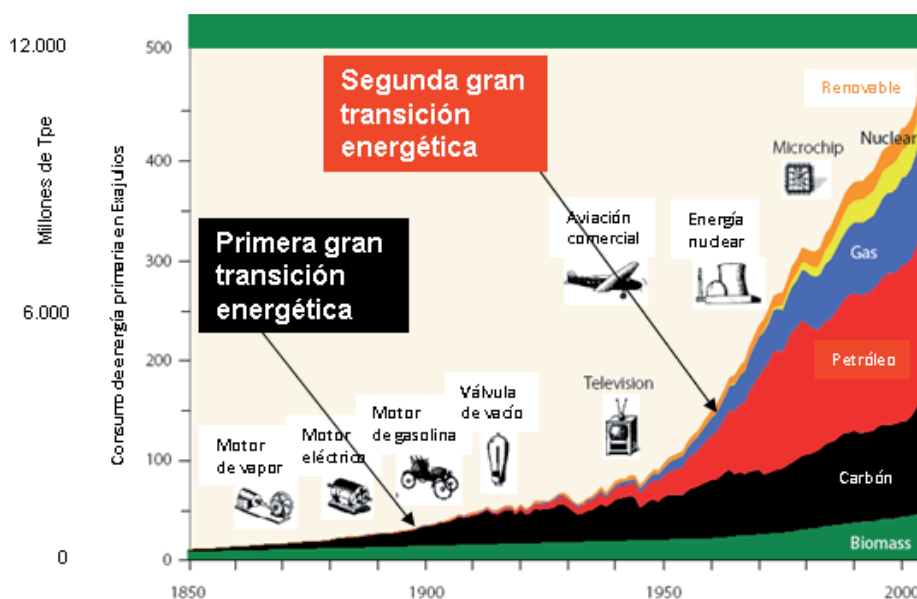


Figura 1. Evolución del consumo de energía primaria en el último siglo y medio.

Fuente: 2011 World Economic and Social Survey UN. Páginas V y VII del overview y elaboración propia.

su consumo sigue aumentando y acortando la diferencia con el petróleo, pero seguramente no lo ha logrado por un tipo de almacenamiento y transporte masivo mucho más difícil, costoso y complejo que el petróleo; es decir, no ha cumplido el requisito exigible a un combustible en nuestra sociedad moderna: primero volumen, variedad geográfica de yacimientos, fácil transportabilidad, versatilidad de uso y densidad energética.

Tampoco lo ha logrado el uranio, que ya cumple tres cuartos de siglo de uso comercial y apenas suministra el 6% de las necesidades energéticas humanas, aunque tenga la ventaja de hacerlo en forma eléctrica, que es energía de calidad, pero que resulta una desventaja, a la hora de aplicarse en muchas otras funciones sociales necesarias no eléctricas, entre ellas el transporte.

En esta tremenda escalada a la cumbre del consumo energético, hay que pensar que si la primera transición energética con el carbón se hizo en el piso 6, la de la gran transición del petróleo tuvo lugar en el piso 24 (cuatro veces más arriba en consumo de energía) y que actualmente nos encontramos en el piso 100. Todo un rascacielos energético.

Y es en este momento cuando surgen dos aspectos importantes que nos obligan a mirar el crecimiento de forma diferente.

En primer lugar, los 10.000 MTpe de combustibles fósiles que se queman cada año expulsan a la atmósfera unos 30.000 millones de toneladas de CO₂ y otros gases de efecto invernadero y partículas tóxicas. Se acaban de alcanzar de forma sostenida las 400 partes por millón (ppm) de CO₂ en la atmósfera, cuando su nivel estable durante milenios había sido de 280 ppm. Dado lo conocidos que son los trabajos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (PICC o IPCC por sus siglas en inglés), no hace falta extenderse mucho más sobre lo que implica, en cuanto al calentamiento global y al cambio climático, este aparentemente

pequeño cambio de la composición de la atmósfera terrestre provocado por el hombre, dados sus comportamientos no lineales.

Pero por otra parte, hay cada vez más signos de que los combustibles fósiles, finitos por su naturaleza, están lle-

SODETEK, S.A.

**INSTRUMENTOS DE MEDIDA
TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS
Y TRATAMIENTO DE SEÑAL
ORDENADORES INDUSTRIALES
TRANSMISIÓN DE DATOS**

Distribuidor oficial de

FLUKE

Tektronix



**NATIONAL
INSTRUMENTS™**
The Software is the Instrument™



Luis Belmonte, nº 2 Acc. 5
41018 SEVILLA
Teléfono: 95 453 99 25 - Fax: 95 453 98 40
Email: sodetek@arrakis.es



gando a los topes máximos mundiales de extracción que la geología permite. El primer signo ya muy evidente es el del petróleo, con muchos países productores ya en franco declive productivo y la propia aceptación de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) de que el petróleo regular convencional, el de más calidad, había llegado a su cenit mundial productivo en 2006³. De hecho, desde 2006 apenas ha aumentado el consumo de petróleo global (un 0.5% anual en bruto, pero posiblemente con un decrecimiento en energía neta; las explotaciones secundarias y terciarias tienen una Tasa de Retorno Energético o TRE (en inglés conocida como *Energy Return on Investment* o EROI) inferior a las del petróleo de mejor calidad que es el que siempre se explota primero).

Aparecen también aquí los límites a la explotación de recursos, en este caso fósiles, pero por primera vez a nivel planetario. Non Plus Ultra.

Estos dos grandes inconvenientes y la percepción de los límites, generalmente expresada siempre en términos económicos, dado que la economía se ha vuelto una disciplina dominante sobre todas las demás debido a la influencia del poder financiero, han hecho que en los últimos años se acreciente el interés por las energías renovables.

En esta visión histórica es interesante señalar que las anteriores transiciones energéticas se dieron con apoyo de la energía "sustituída" y con ésta en crecimiento, mientras ahora la nueva transición, en niveles mucho más altos de consumo, se tendrá que hacer con el apoyo fósil en decrecimiento y con sus Tasas de Retorno Energético bajando, algo así como verse obligado a sostener el crecimiento de un niño con las fuerzas de un anciano, en vez de hacerlo con las de un padre joven.

Se vuelve la mirada con una mezcla de interés y preocupación a las tres grandes alternativas: la biomasa, generalmente en forma de biocombustibles, y las dos nuevas grandes esperanzas de las energías renovables modernas, la energía eólica y la solar en todas sus variedades: térmica, termoelectrica y fotovoltaica. No se tratará aquí de otras energías como las mareomotrices, las de corrientes marinas o la de geotermia, por su actual insignificancia y por no vislumbrarse ninguna remota posibilidad de que pudieran

³ Fatih Birol. Economista Jefe de la Agencia Internacional de la Energía. *World Energy Outlook (WEO) de 2010*. Página 48.

acercarse siquiera a cantidades apreciables de nuestro consumo energético actual.

Por las dos grandes razones anteriores, los problemas ambientales de quemar tanto hidrocarburo y su eventual agotamiento que, por lo que se conoce de yacimientos y países que han declinado considerablemente, tiene tasas de caída de entre el 4 y el 8% anual cuando sus yacimientos han pasado el cenit productivo, nos hace pensar en que disponemos de muy poco tiempo para buscar una alternativa. Esa alternativa debería tener las siguientes características si se piensa en una tercera gran transición energética:

- Reemplazar la mayoría de los 10.000 MTpe anuales de las energías fósiles y, previsiblemente, de los 720 MTpe que la energía nuclear representa hoy, en un plazo muy corto de tiempo, históricamente hablando.
- Debe ser una energía versátil con múltiples aplicaciones.
- Fácil de almacenar masivamente.
- Fácilmente transportable en peso y volumen a grandes distancias.
- Densa (mucha energía por kilo, litro o unidad de superficie)
- De alta Tasa de Retorno Energético.

Por tanto aquí se enfocará la cuestión sólo desde estos puntos de vista, que se consideran **conditio sine qua non** para que la sociedad mundial, como ahora la conocemos, pueda aspirar a seguir su curso sin grandes interrupciones o bruscos colapsos.

No se analizarán casos aislados de progresos particulares en una aplicación determinada, como suele ser habitual en forma de estudios de abajo hacia arriba (*bottom-up*). Estos estudios dan por supuesto que existe suficiente energía renovable para sustituir a los actuales combustibles fósiles en los niveles actuales. De ellos dan muestra los muchos estudios que ha promovido la organización ecologista Greenpeace⁴ a veces con el asesoramiento de la Universidad de Comillas.

En otros casos, existen estudios amplios y documentados, como los que ofrecen Mark Z. Jacobson y Mark A.

⁴ Ver <http://www.greenpeace.org/espana/es/Trabajamos-en-Frenar-el-cambio-climatico/Revolucion-Energetica/> en sus diferentes estudios: (R)evolución energética, (R)enovables 2050, (R)enovables 100% y Energía 3.0

 **idom**
Servicios Integrales de Ingeniería

C/ Exposición, 14. Parque Industrial
y de Servicios Aljarafe (P.I.S.A.)

41927 Mairena del Aljarafe (Sevilla).

Tel.: 955 600 528. Fax: 955 600 488

E-mail: idom@sevilla.idom.es · Web: www.idom.es

SERVICIOS INTEGRALES

INGENIERÍA INDUSTRIAL

ARQUITECTURA Y EDIFICACIÓN

URBANISMO · MEDIO AMBIENTE

GESTIÓN TERRITORIAL

INGENIERÍA CIVIL · ENERGÍA



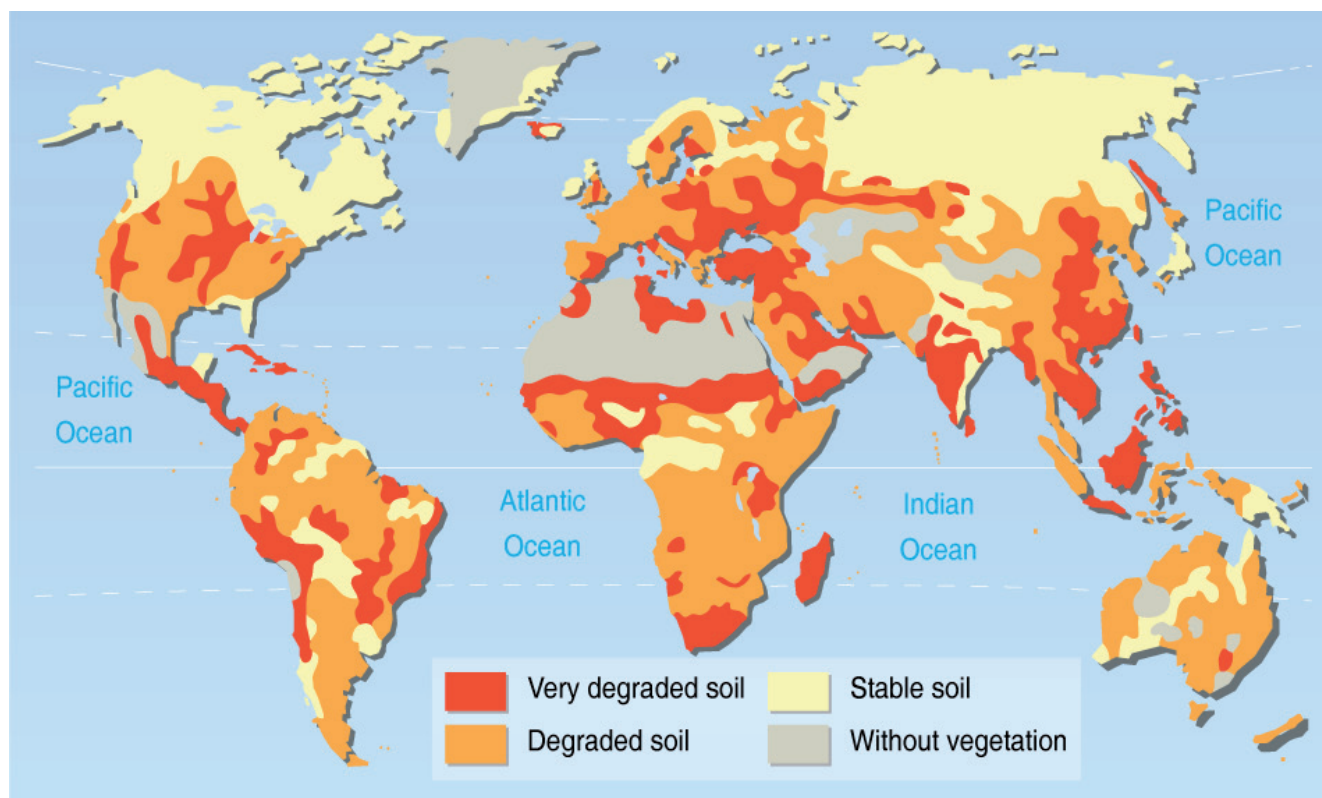


Figura 2. Mapa global de la degradación del suelo.

Fuente: UNEP, International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), *World Atlas of Desertification*, 1997. Philippe Rekacewicz, UNEP/GRID-Arendal

Delucchi, que también analizan la transformación de nuestra matriz energética a un mundo que se podría mover en un 100% con energías renovables, en periodos de tiempo tan cortos como en 2030, o Greenpeace que piensa poder hacerlo en 2050⁵.

En estos casos se analizan diferentes tecnologías, generalmente un mix energético renovable, pero en el que la energía solar y la eólica suelen tener un papel preponderante. En ellos es común realizar el estudio sobre potenciales en una zona o con una determinada tecnología y extrapolar su potencial al planeta entero.

Estos estudios tienen en común que generalmente no encuentran límites planetarios o de recursos a nivel global para conseguir unos niveles de captación energética renovable muy superiores a los que hoy se consumen en el mundo, que se encuentra ya en la planta 100 (los 12.000 MTpe mencionados) del consumo. Su ventaja es que cuentan con un gran predicamento, porque los estudios conclu-

yen con lo que se considera “buena noticia” (que podemos seguir como estábamos pero con energía “verde”)

En este breve ejercicio se mostrará otra variante de estudios, que se realiza en forma de arriba hacia abajo (*top-down*), comenzando por analizar los recursos energéticos potenciales globales o planetarios, que parecen en principio inconmensurables, para ir descartando las energías que ob-

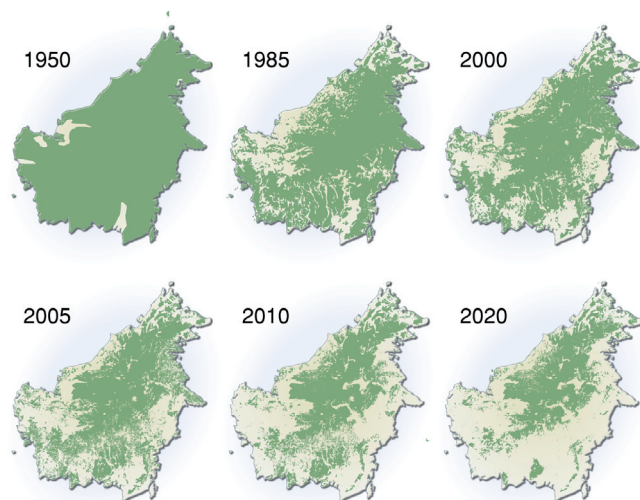


Figura 3. Extensión de la deforestación en la isla de Borneo 1950-2005 y proyección a 2020.

Fuente: WWF.

⁵ <http://www.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/sad1109Jaco5p.indd.pdf> A plan for a Sustainable Future. How to get all energy from wind, water and solar power by 2030. Mark Z. Jacobson y Mark A. Delucchi. *Scientific American*. Noviembre de 2009. Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. Mark Z. Jacobson, Mark A. Delucchi. Universidades de Stanford y California. 30 de Diciembre de 2010.



viamente no son utilizables en la práctica, hasta llegar a las que pueden efectivamente ser capturadas.

Lo que se ha descubierto con estos procedimientos en algunos estudios parece indicar que sí puede haber límites hasta para el uso de esas modernas energías renovables. Parece que también, a determinadas escalas de utilización, pudieran provocar cambios de efectos muy indeseables, de forma similar a las que fuerzan hoy el calentamiento global y el cambio climático de origen antrópico. Que a esos niveles algunas de estas energías renovables podrían dejar de serlo o que pueden quizás tener densidades, versatilidades o calidades, entre ellas la Tasa de Retorno Energético, u ocupaciones de terreno o superficie más allá de toda razonabilidad en nuestros actuales niveles de exigencia energética.

La biomasa

En primer lugar y respecto a la biomasa, los agrocombustibles ya ocupan la superficie de España (unos 500.000 km² de tierras relativamente fértiles), que supone un 0,33% de la superficie de todos los continentes y apenas contribuyen al mix energético en un 0,4% del total de energía primaria. En energía neta mucho menos. Está claro que este tipo de fuente de energía no va a ser la que sustituya a los combustibles fósiles. Para generar toda la energía que se consume hoy en base a este tipo de combustible, habría que cubrir toda la superficie terrestre de cultivos energéticos, suponiéndolos de la misma fertilidad que los actuales. El agua dulce necesaria excedería de la disponible en el planeta. La tierra no tendría descanso, ya que el suelo fértil no es una fábrica de la que pueden salir incesantemente combustibles año tras año sin fatiga. Si se descuentan los desiertos y las necesidades alimentarias humanas y animales, y la necesidad de bosques y praderas para el mantenimiento de la vida vegetal y animal, este es un sueño imposible, incluso asignándole una mínima fracción de nuestro consumo actual. No se podría seguir creciendo, que es el sueño de nuestro modelo actual. Ello, por no extendernos en las consideraciones de su bajísima TRE, que algunos expertos consideran se acerca a 1:1; es decir, que para producir una unidad de energía de biocombustibles, se necesita consumir casi una unidad de energía de otro tipo en todo el proceso productivo, lo que supone una cierta doble contabilidad que engaña sobre las posibilidades de este tipo de energía.

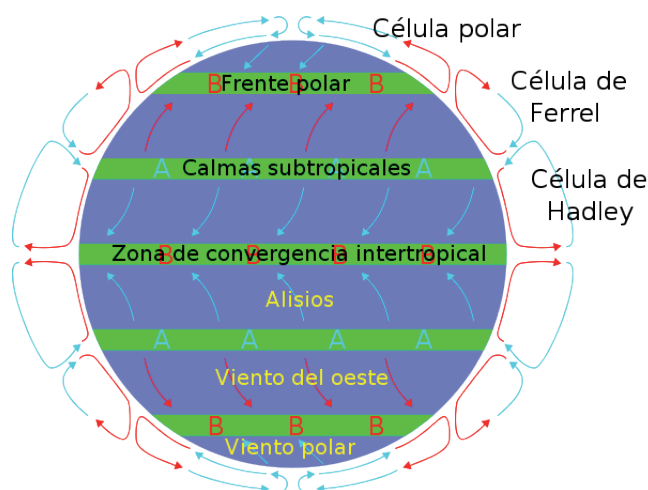


Figura 4. Diagrama de circulaciones atmosféricas.
Fuente: Wikipedia.

El viento

Aquí la energía cinética potencial máxima de toda la atmósfera terrestre varía entre diferentes autores. De todas formas, considerando la termodinámica, las medidas de estaciones meteorológicas y los modelos de Circulación Global Oceánica, la horquilla podría situarse entre los 850 y los 1.200 TW.

Aunque se trate de ser optimistas, y se utilicen las cifras altas de este tremendo potencial, por ejemplo suponiendo los 1.700 TW de energía cinética en todos los vientos del planeta en todas las latitudes y a todas las alturas, luego hay que empezar a desgarnar cuánta de esa energía sería posible capturar con aerogeneradores. Algunos autores que hacen estudios de abajo hacia arriba, estiman que se pueden capturar (interceptar o transformar de energía cinética del viento en electricidad) enormes cantidades de esa energía. Por ejemplo, Jacobson y Delucchi ven un escenario que podría capturar el 50% de toda la energía demandada en 2030, que según ellos sería el 30% inferior a la actual por la mejora de la eficiencia eléctrica frente a las máquinas de combustión interna. Eso serían unos 3,8 millones de turbinas eólicas de 5 MW cada una o unos 19 TW de potencia instalada a nivel mundial para proporcionar, a un 20% de factor de carga (el porcentaje en número de horas al año que estas máquinas suelen trabajar a la potencia nominal),

Desde 1984 comprometidos con la

Innovación Tecnológica

Edificio Bluenet.
Avda. de Isaac Newton 3, 4ª planta.
PCT Cartuja
www.isotrol.com



en el mejor de los casos unos 5 TW de potencia constante equivalente. Otros autores consideran como sostenible y económicamente realizable entre 1 TW (Greenpeace) y 6,9 TW.

Sin entrar en más detalles, sorprende que haya científicos que piensen que es posible llegar a capturar el 5/1.700 ó el 0,3% de toda la energía contenida en todos los vientos del planeta a todas las latitudes y altitudes de forma permanente, sin ponerse a pensar qué puede suponer para el equilibrio atmosférico interceptar esa barbaridad de energía de los flujos habituales del viento planetario que interaccionan con la formación de nubes, con las corrientes marinas. Si se concede que el CO₂ aumentando en 1/10.000 (un 0,001% de aumento), siendo el CO₂ a su vez apenas el 0,033% de la composición del aire terrestre, ya está provocando cambios irreversibles e importantes en el clima del planeta, sorprende ver cómo se desprecia el principio de precaución para llegar a sugerir que atrapar/interceptar y transformar el 0,3% de TODOS los vientos del planeta no va a suponer cambio climático o atmosférico alguno. Y eso que solo se plantea en el supuesto de satisfacer apenas el 50% de la demanda mundial de energía y el supuesto muy teórico de que se va a consumir un 30% menos en el futuro sin perturbar las “sendas del crecimiento” económico tradicional. Supuesto que no se ha dado jamás en los 150 años de progreso tecnológico, como bien señaló ya en 1856 Stanley J. Jevons⁶ en su famosa paradoja.

Algunos autores como Ted Trainer o Carlos de Castro et al⁷, ya han hecho ver con sendos estudios esta irregularidad académica manifiesta que llega hasta violar los principios fundamentales de la termodinámica, pero que sin embargo prevalece como más plausible en el colectivo científico optimista. Castro et al llegan a cifrar en un máximo de 1 TW el potencial de energía (equivalente a disponer de unos 5 TW de potencia instalada) que se puede sacar del viento, considerando que solo se pueden capturar vientos de hasta 200 m. de altura sobre el nivel del suelo, que no se podrían capturar muchos de los vientos sobre océanos, que otros no tienen velocidad suficiente o que se encuentran en lugares inaccesibles y demás. Considerando que hoy estamos en un nivel de 17 TW de potencia equivalente, parece que las ambiciones humanas han llegado también a los límites del viento terrestre.

⁶ Stanley J. Jevons. *The Coal Question*. 1856. En este libro manifiesta la paradoja de descubrir que a pesar de que se avanza en la eficiencia de las máquinas de vapor, se consume cada vez más energía, en contra de lo que se pudiese intuir inicialmente.

⁷ Global wind power potential: Physical and technological limits. Carlos de Castro, Margarita Mediavilla, Luis Javier Miguel, Fernando Frechoso. *Energy Policy*. Junio de 2011. A critique of Jacobson and Delucchi's proposals for a world renewable energy supply. Ted Trainer. *Energy Policy*. Noviembre de 2011.

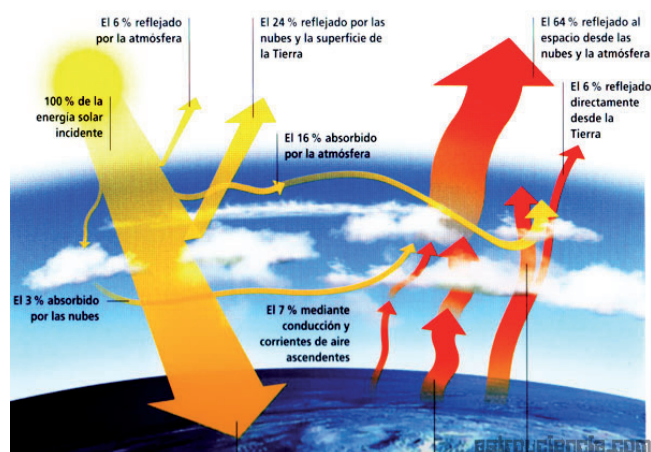


Figura 4. Ciclo de la energía solar.

Fuente: Astroyciencia.com.

El sol

En cuanto al sol, Vaclav Smil⁸ decía que era la única fuente renovable con potencial (teórico) para abordar la energía que los seres humanos ya demandamos. Sobre la energía que el sol proyecta sobre el planeta, que es la energía originaria de casi todas las demás, hay menos discrepancias, porque se mide con exactitud y regularidad en el espacio exterior una radiación de 1.365 W/m². Esto supone un maravilloso caudal de 172.500 TW. Más que suficiente, para los 17 TW que hoy consumimos. Pero si se empiezan a descontar los que se reflejan en la atmósfera (unos 58.600 TW) o en la hidrosfera que hacen posible la evaporación de las aguas (65.400 TW), quedan unos 15.600 TW que se radian sobre los continentes o la materia inorgánica de los mismos (un 9% de todo lo que el sol nos entrega), ya que unos 133 TW (algo menos del 1%) se dedican a realizar la fotosíntesis de la biomasa y esos no se deberían tocar. Pero de los 15.600 TW que nos quedan, muchos se encuentran en zonas polares o en desiertos o montañas, selvas, parques naturales, lagos o lugares inaccesibles.

De Castro et al han calculado el potencial de arriba hacia abajo (*top-down*)⁹. Sus conclusiones divergen sustancialmente de los estudios más optimistas realizados con la metodología de abajo hacia arriba (*bottom-up*). En concreto concluyen, utilizando criterios realistas de densidad energética, que el potencial real utilizable de este tipo de moderna energía (solar FV o termosolar) oscila entre 1 y 5 TW. Su densidad energética la calculan entre los 2,5 y 4,5 vatios

⁸ Vaclav Smil. Autor de más de 30 libros y 400 artículos sobre energía, medio ambiente, población y alimentos, es profesor distinguido de la Universidad de Manitoba, miembro de la Academia de Ciencias de Canadá y está considerado por *Foreign Policy* como uno de los 100 más importantes pensadores del mundo.

⁹ <http://www.eis.uva.es/energiasostenible/wp-content/uploads/2011/11/solar-energy-draft.pdf>. Global solar electric power potential: technical and ecological limits.



eléctricos por metro cuadrado, muy poco por encima de la eficiencia de la fotosíntesis de las plantas y de unas 5 a 10 veces menor que la mayoría de los estudios que realizan valoraciones del potencial solar. Esto implica que su uso masivo y generalizado para la sustitución de los combustibles fósiles conllevaría una utilización de suelo real mucho mayor de lo que se había pensado hasta ahora. Castro considera que un límite superior geográfico para el uso de sistemas solares sería de entre 0,5 y 1 millón de km² ¹⁰. Seguramente a muchos les podrá parecer esta ocupación de superficie aceptable, aunque ello lleva a otro gran problema que es la gran escasez de algunos de los elementos esenciales que hoy se utilizan en sistemas solares. Así, una sustitución masiva de las fósiles por solares llevaría al agotamiento fulgurante de algunos materiales como plata para los espejos (los de aluminio tienen peor reflectividad), sales (nitrato sódico y potásico) para el almacenamiento de energía en plantas termosolares o, en el caso de la solar FV, elementos raros y escasos como el indio, galio, talio, telurio o plata. Los aerogeneradores tendrían problemas para abastecerse de neodimio o praseodimio y casi todas estas tecnologías pondrían a las existencias de cobre restantes en una situación límite.

Por último, el estudio¹¹ llevado a cabo en España, el país mejor irradiado de Europa, durante los años 2009-2011 de todas las instalaciones solares FV operando en el mundo real, nos ha llevado a una sorprendente y molesta conclusión: su TRE es extremadamente más baja que lo que los muchos estudios anteriores parecían indicar. También este estudio se ha realizado en forma de arriba hacia abajo (*top-down*) y concluye, con la inclusión de *inputs* energéticos para su fabricación, instalación, mantenimiento etc., que estos dispositivos, en el mejor de los casos, entregarían a lo largo de los 25 años considerados de vida útil, apenas unas 2,5 veces la energía que hay que meter en ellos inicialmente. Dado que una sociedad desarrollada y tecnológica necesita mucha más energía neta para operar (en la actualidad se considera que esta sociedad sólo se podría mantener como es, si dispone de una TRE de entre 10 y 20 a 1 o superior), el resultado supone un reto para esta vía alternativa a las fósiles, que ha puesto a la comunidad científica mundial¹², experta en estos temas, en alerta y en discusión y revisión de la metodología que excluía o ignoraba muchos gastos energéticos de entrada como indispensables para que estos sistemas puedan funcionar.



CONCLUSIÓN

Debemos empezar a mirar con un cuidado extremo los límites que el planeta tiene y el alcance actual de las necesidades humanas en función de un modelo de vida que resulta a todas luces bastante insostenible. Hay que cuidar la aplicación del principio de precaución también para las supuestamente inocuas energías renovables cuando se intentan llevar a escalas enormes y a aplicaciones masivas que pretendan sustituir a las energías fósiles.

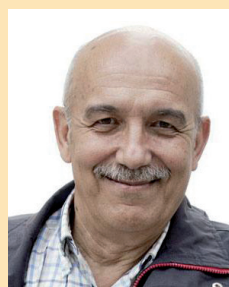
Pedro Prieto

Pozuelo de Alarcón. 23 de mayo de 2013.

¹⁰ *Ibid.* Página 9.

¹¹ *Spain's Photovoltaic Revolution: Energy Return on Investment.* Pedro A. Prieto y Charles A. S. Hall. 2013. Springer.

¹² Autores como Erik Alsema de la Universidad de Utrecht, Vasilis Fthenakis y H. C. Kim de la Universidad de Columbia, Marco Raugei de la Universidad de Barcelona y muchos otros calculan en sus estudios TREs de 6 a 40, según el enfoque y la tecnología particular analizada. Este tipo de estudios estaba admitido como metodología en la Agencia Internacional de la Energía (AIE), pero excluía ciertos costes energéticos imprescindibles.



Pedro Prieto es Vicepresidente de la Asociación para el Estudio de los Recursos Energéticos (AEREN) y miembro del Panel Internacional de The Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO)