

Madrid, lunes 29 de noviembre de 2021

Antonio Turiel: “La escasez de materiales es una estaca en el corazón de la transición energética”

- El investigador del CSIC en el Instituto de Ciencias del Mar explica el pico de los combustibles fósiles y las dificultades para la implantación de las energías renovables
- Los problemas de desabastecimiento, el aumento del precio de la electricidad o el riesgo de un gran apagón en Europa Central son otros de los temas abordados en esta entrevista



Especializado en oceanografía física, Antonio Turiel estudia desde hace más 10 años la situación de los recursos energéticos. / Ana Iglesias

El teléfono del despacho de Antonio Turiel (León, 1970) en el Instituto de Ciencias del Mar no deja de sonar desde hace unas semanas. Los motivos: la escasez de materiales y la crisis energética. Periodistas, empresas y administraciones cada vez muestran más interés por hablar con él, especialmente desde que [compareció en el Senado](#) ante la Comisión de Transición Ecológica para hablar sobre los retos de una transición

energética sostenible. Lo hizo en calidad de Doctor en Física Teórica experto en recursos energéticos, aunque también es matemático y centra su trabajo en la oceanografía por satélite. En sus intervenciones públicas, al igual que en el blog [The Oil Crash](#) y el libro *Petrocalípsis*, dibuja un escenario complicado: los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) han comenzado su declive o están a punto de hacerlo, y las renovables no pueden sustituirlos siguiendo el modelo actual. El científico del CSIC considera que la tecnología no va a servir para hacer frente a la situación si no abandonamos la idea de crecimiento. En esta entrevista, hablamos con él de todo ello y de otras derivadas de la crisis energética: el desabastecimiento, las complicaciones en el suministro de gas, el aumento de la factura de la luz, el riesgo de un apagón en Europa Central o las limitaciones del coche eléctrico.

El pico del diésel

Últimamente se habla mucho de desabastecimiento: faltan microchips, combustible en las gasolineras británicas o algunos artículos de la campaña de Navidad. ¿Por qué parece que falta de todo?

Hay razones que son coyunturales: volver a poner todo en marcha después del parón de la pandemia ha costado mucho esfuerzo y ha habido cuellos de botella logísticos. Esto se dice continuamente y es verdad. Pero el factor más relevante ahora mismo es el energético, que repercute de muchas maneras, no todas claramente visibles. El barril de petróleo está ahora en unos 85 dólares, un precio relativamente alto, pero no de ruptura. Como estamos lejos de los 120 dólares, que se considera un precio que lleva a la quiebra a la economía global, la gente no piensa en el petróleo como causante de esta situación. Pero aquí hay un error importante porque nosotros no utilizamos el petróleo en crudo, sino combustibles derivados del petróleo, y lo que escasea es el diésel.

¿Por qué escasea?

Porque el petróleo crudo convencional, el que sirve para hacer más cosas y es más fácil de extraer y procesar, llegó a su máximo en 2005. La producción lleva 16 años sin aumentar y en los últimos años ha empezado a caer. Para compensar la falta de petróleo crudo convencional, hemos extraído otros líquidos más o menos similares al petróleo, los llamados 'petróleos no convencionales', pero no valen para hacer lo mismo. En particular, lo que más ha subido en los últimos años es el petróleo del *fracking*, el petróleo ligero de roca compacta, que no vale para hacer diésel. Por eso en 2015 llegamos al pico de la producción de diésel. En 2019 la producción empezó a bajar y ahora se está estrellando: ha caído cerca de un 15% respecto a los máximos.

“El petróleo convencional, el que sirve para hacer más cosas y es más fácil de extraer, llegó a su máximo en 2005”

¿Esto está afectando al conjunto de la economía?

El diésel es la sangre del sistema. Mueve los camiones, las excavadoras, los tractores e, indirectamente, los barcos. Antes los barcos podían utilizar combustibles de peor calidad, pero desde el 1 de enero de 2020 ha entrado en vigor la nueva normativa marítima internacional (IMO 2020), que limita las emisiones de azufre. Por eso los barcos ahora necesitan un tipo de combustible que, aunque no es exactamente igual que el

diésel, compite con él en la misma franja de destilación y refinería. Además, los destilados medios que están en la misma franja que el diésel han caído un 50% desde 2008. Todo ello ha contribuido a que el coste del transporte por barco se haya multiplicado por 10 desde el año pasado. Esta situación también ha hecho que se incrementen los costes de los trabajos de minería en todo el mundo. Algunas minas están electrificadas, pero la mayoría, no. Todo en ellas se hace con diésel. Por eso se están cerrando y abandonando proyectos de nuevas minas de muchos materiales, incluyendo el carbón, cuyo pico fue en 2014, y el uranio, cuyo pico fue en 2016.

¿Y qué hay del gas?

Se espera que el máximo sea en algún momento entre 2020 y 2030. El último informe de la Agencia Internacional de la Energía lo muestra por primera vez. Pero Europa ya ha llegado a su máximo de suministro, porque el gas no es tan fácil de transportar como el petróleo. Los productores que nos lo hacen llegar por tierra, Argelia y Rusia, alcanzaron su máximo hace 10 años y su consumo interno sigue creciendo, por lo que sus exportaciones bajan. La maniobra que está haciendo Argelia de no pasar el gas por Marruecos en realidad es porque no pueden mantener las exportaciones de gas. Esto hace que Europa se tenga que aprovisionar de otros países. El gasoducto que viene por Turquía desde Oriente Medio nos proporciona una gran cantidad de gas, pero tiene sus limitaciones, así que el resto tiene que venir por barco, y eso requiere unas instalaciones muy costosas. Hay que licuar el gas en origen, transportarlo en un buque metanero a 160 grados bajo cero y, al llegar a destino, regasificarlo. Por eso el gas que se importa por barco es tres o cuatro veces más caro que el que viene por gasoducto. El problema del precio del gas ha venido para quedarse. Cuando haya menos demanda o entremos en recesión, el precio bajará, pero el problema de suministro va a persistir y el precio se volverá a encarecer. Esta situación tiene una cadena de interacciones tremenda porque, por ejemplo, el gas repercute en el precio de la electricidad.

“El gas importado por barco es tres o cuatro veces más caro que el que de gasoducto. El problema del precio del gas va a persistir”

¿De qué forma?

En España, para la fijación de precios en el mercado mayorista, donde las comercializadoras compran el gas, empleamos un sistema marginalista. Es decir, se paga la electricidad, el kilovatio hora (kW·h) producido, al precio del kW·h más caro que entra en cada momento. La tecnología más cara suele ser la de las centrales de ciclo combinado, que utilizan gas, y el precio del gas ahora se ha disparado.

¿Por qué se utiliza este sistema?

Porque los economistas dicen que favorece que aparezcan nuevas tecnologías más baratas que la más cara, para así ir substituyendo y conseguir un rápido progreso tecnológico. Piensan que las tecnologías y las fuentes de energía son infinitas, pero no es verdad. En el mundo real el sistema marginalista hace que, cuando una materia prima como el gas escasea, el precio se vaya por las nubes. Este sistema se ha implantado a través de la normativa europea y España no puede modificarlo por sí sola.

La dependencia del gas

¿Por qué necesitamos el gas si tenemos otras fuentes de energía?

En España hay instalados 112 gigavatios (GW) de potencia eléctrica para cubrir una demanda que tuvo su pico máximo de 45 GW en 2008 y que desde entonces ha ido cayendo: en la actualidad equivale a 30 GW, con picos de hasta 42. Necesitamos tener un cierto grado de redundancia en la generación eléctrica, porque no siempre sale el sol o sopla el viento; incluso hay que parar las nucleares de vez en cuando para recargar o por incidentes. Pero con 70 o 80 GW de potencia instalada nos llega para cubrir una demanda media de 30 GW. Y, sin embargo, tenemos que recurrir continuamente al gas. ¿Por qué? La explicación es muy técnica, pero muy interesante. No solo tenemos el problema de la intermitencia de las fuentes renovables, sino el de la estabilidad de la corriente. La gente tiene tendencia a pensar que la corriente eléctrica es como un líquido, como cuando abres el grifo de tu casa y sale el agua. Pero la electricidad no fluye, es una onda que oscila 50 veces por segundo; aquello de la corriente alterna que estudiábamos en el instituto. Lo importante aquí es mantener la sincronía perfecta de todos los sistemas que producen electricidad. Todos tienen que subir y bajar al mismo tiempo. Cuando tienes sistemas renovables distribuidos en un territorio muy amplio, conseguir esa sincronía es complicadísimo. Si todo no está perfectamente sincronizado, se empiezan a generar frentes de onda. Por explicarlo de forma sencilla: pensemos en dos niñas que no se ponen de acuerdo moviendo una comba. Cuando una sube, la otra baja y la de en medio se lleva un tortazo.

¿Por qué ocurre esto y cuál es su relación con la corriente eléctrica?

En los sistemas eléctricos, cuando no consigues que la frecuencia esté perfectamente afinada se empiezan a propagar ondas por toda la red de manera desordenada. Puede haber sitios en los que la tensión baje a cero de golpe –entonces se quedan sin corriente y se producen apagones en cascada– y otros en los que la potencia se junta toda a la vez sincronizada y es 10 o 20 veces lo que tendría que ser. Eso no lo soporta nada, literalmente desintegra líneas de alta tensión o estaciones transformadoras. Es un problema gravísimo que Red Eléctrica Española y el regulador europeo siempre están vigilando y que se repite con frecuencia ahora que tenemos muchísimos sistemas renovables instalados. El 8 de enero de este año hubo un incidente grave. Una subfrecuencia en Croacia se combinó con una superfrecuencia que suele haber en Alemania porque tiene muchísimos aerogeneradores y placas fotovoltaicas dispersas por todo el territorio. Esto empezó a generar una inestabilidad de gran tamaño que obligó a separar la red europea en dos.

“España se encuentra a salvo del gran apagón porque no está tan interconectada, pero deberíamos repensar el modelo de implantación de las renovables”

¿Que una persona instale una placa solar en su casa contribuye a este problema?

No es una persona con una placa solar; son cien mil personas con cien mil placas solares. Ahí sí que hay un problema. De hecho, en Australia el regulador ha prohibido nuevas conexiones a la red con placas solares precisamente por esto. En Europa Central, este problema ha suscitado el riesgo de un gran apagón, del que España se encuentra por

ahora a salvo porque no está tan interconectada como el resto del continente, pero que nos debería obligar a repensar el modelo de implantación de las renovables.

¿Y qué podemos hacer para evitar este problema?

Necesitas tener centrales que puedan entrar y salir rápidamente para que, cuando alguien tire más de un sitio, ellas tiren más del otro y compensen. Lo único que tenemos que puede hacer esto son las centrales hidroeléctricas, que están limitadas por el agua que hay en los pantanos, y las centrales de gas de ciclo combinado. Por eso no nos vamos a deshacer de las centrales de ciclo combinado –centrales de gas– aunque pongamos tres veces más renovables. Las vamos a necesitar siempre ahí para garantizar que podemos controlar la frecuencia.

¿Y la energía nuclear no vale para esto?

No, porque siempre tiene la misma potencia, no es regulable, no permite adaptarse a los cambios en la demanda de electricidad. Y encima la producción de uranio disminuye. La propia Asociación Nuclear Mundial considera que hacia el año 2040 será la cuarta parte de lo que es ahora. En cualquier caso, tú necesitas algo que puedas apagar y encender a voluntad. Se dice que se va a probar con hidrógeno, pero la transformación de agua en hidrógeno mediante electrólisis tiene unas pérdidas que están cercanas al 50%: cada megavatio hora (MW·h) generado necesita dos de electricidad para producirse. La idea del hidrógeno es producirlo cuando la electricidad sea barata, pero es que ahora la electricidad no es barata en ningún momento.

“La Asociación Nuclear Mundial considera que hacia el año 2040 la producción de uranio será la cuarta parte de lo que es ahora”

¿Cómo interpretas las palabras de Pablo Casado acerca de que la energía nuclear es necesaria para cubrir la demanda cuando no luce el sol?

Es evidente que no puedes aprovechar la energía solar de noche ni la eólica cuando no hay viento. Por eso, necesitas tener fuentes de energía que te permitan entrar y salir fácilmente en el sistema cuando las renovables no producen energía y que solucionen el problema de la estabilidad de la red causado por la implementación de las renovables. Casado tiene parte de razón, pero se confunde porque la nuclear funciona a piñón fijo: puedes regular un poco su *output* a lo largo del día, pero muy poco. Al final necesitas la hidroeléctrica y las centrales de gas. El modelo completamente descarbonizado al que pretendemos ir tiene este problema: habría que introducir sistemas de almacenamiento (baterías, bombeo inverso, sales fundidas...) y estabilización (baterías o volantes de inercia) para los cuales aún falta algo de desarrollo, sobre todo en cuanto a su implementación masiva. Está bien que surja el debate y se hable de estas cosas, pero es una lástima que el nivel técnico general de discusión sea tan bajo.

Las dificultades de las renovables

Entonces, ¿las renovables no son la solución al pico de los combustibles fósiles?

No tengo duda de que vamos a una sustitución de energía fósil por renovable. Lo que es discutible es el modelo actual de 100% renovable y que con las renovables vayamos a

producir la misma cantidad de energía que estamos consumiendo hoy. Las renovables pueden producir muchísima energía, pero quizá no tanta como la que consumimos actualmente. En todo caso, la energía renovable puede ser suficiente para satisfacer las necesidades reales de las personas en todo el mundo, no solamente en los países desarrollados. Nuestro estilo de vida tendría que cambiar, pero seguramente se podría hasta mejorar el nivel de vida. Sin embargo, el modelo de renovables eléctricas que se está planteando hoy tiene tres inconvenientes severos. El primero es que hay limitaciones a la cantidad de energía que se puede extraer de los flujos del planeta. Se dice que la energía que nos llega del sol es casi 10.000 veces toda la energía que consume la humanidad en un año, pero lo cierto es que esta energía llega muy dispersa. El máximo que se puede extraer sin perturbar los ciclos naturales del planeta –la lluvia, los vientos o el crecimiento de las plantas– es alrededor de un 0,04%. Esto implica cuatro veces el consumo energético actual, pero no existe un consenso científico sobre cuál es el máximo que se puede extraer de los procesos renovables. Básicamente, hay dos posturas: la de quienes estiman que podemos llegar a producir la mitad de lo que consumimos hoy y la de quienes piensan que podríamos producir unas cinco veces más.

¿Cuál crees que va mejor encaminada?

Yo me alinee con la parte de la franja baja porque los argumentos físicos me parecen más convincentes. De todas formas, si diéramos por válido el escenario más optimista, la economía en un momento dado tendría que estacionar. Incluso en la parte alta de la horquilla, si tenemos en cuenta que el consumo de energía de las últimas décadas se ha duplicado cada 30 años, antes de acabar este siglo llegaríamos al tope. Este es el primer problema, que el potencial es limitado y acaba con la idea del crecimiento económico en un plazo de tiempo históricamente breve, 60 o 70 años como mucho.

“Vamos a una sustitución de energía fósil por renovable, pero es discutible que vayamos a producir la misma cantidad de energía”

¿Cuál es el segundo inconveniente de las renovables?

El que para mí es el más grave: su dependencia de combustibles fósiles y materiales escasos. Lo primero significa que a día de hoy nadie ha sido capaz de construir una presa hidroeléctrica, un aerogenerador o una placa fotovoltaica de forma que en el proceso de fabricación, instalación, mantenimiento y desmantelamiento eventual no se utilicen combustibles fósiles. Nadie lo ha conseguido solo con energía renovable porque no es evidente que se pueda hacer. A lo mejor se podría en una virguería técnica, pero seguramente gastaríamos más energía de la que el sistema nos devolvería, con lo cual tendríamos un sumidero energético y no una fuente de energía. Por otra parte, no nos damos cuenta de que materiales que damos por garantizados, como el cemento y el acero, dependen críticamente de la existencia de combustibles fósiles.

¿No se está investigando para acabar con esta dependencia de los combustibles fósiles?

Nadie aborda este problema seriamente porque es un punto insalvable. No está en absoluto demostrado que estos sistemas se puedan hacer sin combustibles fósiles. De hecho, algunos autores dicen que los sistemas renovables actuales, los eléctricos, son

solamente extensiones de los combustibles fósiles. Obviamente tienen menos huella de carbono, emiten menos CO₂ por unidad de energía producida, pero sin CO₂ fósil no se pueden poner en marcha.

¿Y qué ocurre con los materiales escasos?

Hay muchos materiales que se acabarían si todo el mundo hiciera la transición energética a las renovables. El último informe de la Agencia Internacional de la Energía dice que, para poder cumplir con los objetivos de descarbonización –que son compatibles con la caída esperada de la producción de combustibles fósiles–, de aquí al 2050

la producción anual de litio se tiene que multiplicar por 100 y la de cobalto y níquel por 40. Esto es físicamente imposible. En los últimos 10 años se ha hecho un esfuerzo enorme para multiplicar la producción de litio por tres y está costando mantener este ritmo. Además, hay que tener en cuenta las reservas. Tomando las reservas probadas y probables de materiales críticos, Alicia Valero, profesora de la Universidad de Zaragoza en el Instituto CIRCE, señala una decena de materiales que resultan insuficientes para la transición: el neodimio, el litio (que se emplea en las baterías), la plata (que se utiliza en los conectores de las placas fotovoltaicas), el platino, el cadmio, el manganeso (que se necesita para hacer acero), el cobre (que es fundamental en los procesos de electrificación), el zinc, el plomo...

“Nadie ha sido capaz de construir una presa hidroeléctrica, un aerogenerador o una placa fotovoltaica sin utilizar combustibles fósiles”

¿Estos materiales no se pueden sustituir?

Claro, pero pierdes eficiencia y obtienes menos rendimiento. Es desvestir un santo para vestir otro. No es evidente que todo el mundo pueda hacer este despliegue al mismo tiempo. Y hay que tener en cuenta que España importa todos estos materiales. Lo que pasa en China ahora es muy significativo. El país tiene un problema gravísimo con el carbón que ha provocado apagones continuos. Por eso ha lanzado un gigantesco programa de implantación rápida de las renovables que le ha llevado a dejar de exportar algunos materiales, como el magnesio. Como Europa cerró sus minas porque no eran rentables, importa el 95% del magnesio que utiliza de China. La asociación metalúrgica europea ha dicho que nos queda magnesio hasta finales de noviembre. Cuando se acabe, se acabó la metalurgia del aluminio, que está en las bicicletas, en los coches, en todas partes. Por supuesto, se buscarán nuevos proveedores de magnesio, pero ¿a qué precio? La crisis de los materiales lo frena todo. Para la transición a un modelo renovable eléctrico, es una estaca clavada en el corazón.

¿No podemos usar estos materiales de forma más eficiente?

Las empresas están haciendo cambios que hace años no se habían planteado para ser más eficientes. Esto va a permitir mejoras de un 10 o un 20%, a veces de un 50% en industrias muy ineficientes, pero será un disparo una única vez, no se puede hacer indefinidamente. A los economistas no les entra en la cabeza que la eficiencia no se puede incrementar hasta el infinito. No puede llegar un momento en el que no necesites nada. Hay un límite material, físico, termodinámico.

¿Cuál es el tercer problema de las renovables?

Que están orientadas a la generación de electricidad y, aunque la electricidad es energía, no toda la energía es electricidad. A nivel mundial, la electricidad representa aproximadamente el 20% de toda la energía final utilizada; en países avanzados, un poco más: un 23,6% en España o un 24% en Alemania. Hay una gran dificultad para electrificar el resto. Hay cosas imposibles de electrificar y otras que no serían rentables al hacerlo. Estamos dando por hecho que vamos a hacer una transición a un modelo no solo 100% renovable sino 100% eléctrico, cuando eso no está ni medio claro.

“Muchos materiales se acabarían si todo el mundo hiciera la transición energética a las renovables”

El futuro del coche eléctrico

Con todos estos problemas, ¿va a ser posible pasarnos al coche eléctrico?

Uno de los puntos débiles del coche eléctrico es la escasez de materiales, porque requiere muchos: neodimio para el motor eléctrico, litio para la batería o cobalto para que la batería sea medianamente pequeña. Pero además tiene muchos problemas logísticos: el 80% de los coches en España duerme en la calle, ¿cómo se van a recargar? Para recargar por completo la batería de un coche eléctrico con una autonomía de 250 kilómetros en un domicilio que tenga 4,4 Kw de potencia contratada, se tardará de media unas 25 horas si se quiere dejar potencia libre para la luz y los electrodomésticos. Recargar la batería para recorrer 30 kilómetros en una electrolinera convencional llevaría media hora. Imagina que cuando llegas tienes a dos delante de ti: estarás hora y media allí. La solución podría ser usar un supercargador, que tiene 140 MW de potencia. Sin embargo, el segundo principio de la termodinámica dice que al conectar cualquier dispositivo de potencia una parte de la energía se disipa en forma de calor. Si tu supercargador disipa un 10%, que no es mucho, con esa energía podrías hacer hervir una olla con 100 litros de agua en 5 minutos. Al conectar tu coche de 30.000 euros, el supercargador reventará la batería. Podrías entonces hacerte con un Tesla con conectores de plata para que la resistencia sea más pequeña y un sistema de refrigeración criogénica de la batería para evitar que se caliente demasiado, y todo iría como la seda. Pero tendrías que pagar 100.000 euros. ¿Quién puede permitírselo? En el fondo el debate de los coches eléctricos va de eso.

Y el hidrógeno, ¿no sirve como combustible?

Mediante un proceso de electrólisis se puede utilizar electricidad para separar el hidrógeno de una molécula de agua. Pero la clave es el rendimiento del proceso. Se suele decir que la eficiencia de la electrólisis es del 80-85%, pero esa cifra se obtiene si solo se tiene en cuenta la electricidad empleada, no la energía que se consume en calentar primero el agua a 80º C. Si miras la eficiencia total en las mejores plantas de electrólisis de producción comercial, el rendimiento es del 53%. En cualquier caso, el hidrógeno es la única alternativa razonable para motores de camiones, excavadoras, maquinaria pesada, tractores, barcos y aviones. Con baterías no pueden ir, porque la densidad en volumen es muy pequeña: en un camión que fuese a 80 km/h y tuviera una autonomía similar a la que estos vehículos tienen hoy, la batería ocuparía el 80% de la carga. El

hidrógeno almacenado a una cierta presión tiene una densidad energética que no es maravillosa, pero no es tan mala como la de las baterías.

Pero también tiene problemas, ¿no?

Sí. Podrías quemar hidrógeno directamente en un motor de combustible, pero con una eficiencia del 15%. Después de haber perdido un 50% en la electrólisis, tienes una eficiencia del 7,5%, que no es nada. Por eso se ponen pilas de combustible. Las

buenas tienen una eficiencia del 50%, que está bien, pero llevan platino, que es justo de estas cosas que se nos acaban. Además, las pilas producen electricidad en un régimen constante, con lo cual este proceso lo que hace es almacenar una batería de litio o cobalto para luego mover un motor eléctrico, que utiliza neodimio y disprosio. Por lo tanto, un motor de hidrógeno en el fondo sigue siendo un motor eléctrico; con una batería más pequeña, sí, pero que necesita todos esos materiales. Además, la pila implica pérdidas del 50%. Añadidas al 50% perdido en la electrólisis, tienes una eficiencia del 25%. Meter el hidrógeno en el depósito a 700 atmósferas supone un gasto energético bastante grande, porque hay que bajar la temperatura del hidrógeno a unos 40º C bajo cero y luego comprimirlo. Esto implica pérdidas del 10-15% respecto a la energía original. Si además tienes en cuenta que la eficiencia del motor eléctrico no es perfecta y que el hidrógeno se escapa del depósito progresivamente, las pérdidas totales son del 90% o más. Esto es lo típico de un motor de hidrógeno a día de hoy.

“El informe del Grupo III del IPCC que se ha filtrado dice que la tecnología del hidrógeno no está a punto”

¿Y no se puede mejorar?

Sí, probablemente, pero las pérdidas serán del 80%, lo tampoco es algo muy bueno. El tema del hidrógeno está muy inmaduro, por no decir que no va a estar maduro nunca. Tanto es así que en el último informe del Grupo III del IPCC, que todavía no se ha publicado pero se ha filtrado, dice que la tecnología del hidrógeno no está en un punto para ser utilizada. Con lo cual la síntesis de los problemas de las renovables es que tienen un potencial limitado, en todo caso finito; dependen de los combustibles fósiles y materiales raros; y están orientadas a la producción de electricidad, lo que trae consigo el problema de la conversión.

Los límites del crecimiento

¿Cuál sería entonces un modelo factible?

Un modelo en el que se produjera cierta cantidad de electricidad, pero donde el aprovechamiento principal de las renovables no fuera eléctrico. Como consecuencia del segundo principio de la termodinámica, siempre que hay un proceso de transformación de la energía de un tipo a otro hay una pérdida en forma de calor, y las pérdidas son tanto más grandes cuanto más diferentes son los tipos de energía. Por ejemplo, si estás transformando energía mecánica del viento en electricidad, dos tipos de energía muy diferentes, las pérdidas son muy grandes, en torno al 70%. Si conviertes la energía mecánica del viento, que es lineal, en energía mecánica de rotación, por ejemplo, para moler trigo, las pérdidas son bastante más pequeñas, del 20%, con lo que obtienes un rendimiento del 80%.

¿Estamos en un punto crítico respecto a la escasez de energía y materiales?

Sí, el próximo lustro es decisivo porque ya se está notando el efecto de desinversión de las compañías petroleras y gasísticas. Desde 2014, las compañías han reducido su gasto en exploración y desarrollo de nuevos pozos un 60%. En el caso de Repsol, un 90%. Esto anticipa bajadas en la producción que la propia Agencia Internacional de la Energía está mostrando. En estadística la expresión punto crítico tiene un significado muy preciso: es el momento en el que se produce una transición de fase, por ejemplo, cuando el hielo se funde y se convierte en agua. Los puntos críticos también son horizontes de predictibilidad: es muy difícil predecir qué viene después. Estamos en un punto muy volátil por la complejidad de las interacciones. Aquí la política tiene mucho que decir. En función de las decisiones que se tomen y las medidas que se adopten, lo que viene a continuación puede ser muy malo o, no voy a decir bueno, pero mucho mejor que eso. Es muy importante entender que hay que actuar ya y que hay que hacerlo con humildad, ir probando y, si algo no funciona, rápidamente rectificar.

“Desde 2014 las compañías petroleras y gasísticas han reducido su gasto en exploración y desarrollo de nuevos pozos en un 60%”

Dices que la crisis energética impide el crecimiento infinito...

La humanidad tiene varios problemas de sostenibilidad, no solo el agotamiento de ciertas fuentes de energía y materiales: el cambio climático, que es una consecuencia de los residuos que estamos soltando en la biosfera; la contaminación por plásticos y metales pesados; la mala calidad del aire; la degradación de los suelos... Todos ellos tienen un origen común: un sistema económico acelerado que nos lleva a un crecimiento infinito y exponencialmente rápido en un planeta finito y nos hace chocar contra los límites biofísicos del mundo donde vivimos. Estamos alterando la biosfera y su capacidad de sostenernos, y eso nos puede llevar a la autodestrucción. Hace 49 años se publicó un informe encargado por el Club de Roma que se llamaba *Los límites al crecimiento*, en el que se analizaba si se podían mantener los patrones de crecimiento indefinidamente. En todos los escenarios planteados –*business as usual*, estabilización, etc.–, se observaba que, tarde o temprano, en el siglo XXI se llegaría a un límite en el que no se podría seguir creciendo por razones que puede entender un niño de 6 años. Cuando discuto con economistas, me dicen: “usted no tiene en cuenta que el progreso tecnológico trae una mejora en la eficiencia de los usos materiales”. Y yo les digo que todos los estudios que se ha hecho muestran que la eficiencia es útil, pero no tiene un recorrido infinito.

¿Tenemos que cambiar nuestra concepción de la economía?

Kenneth Boulding decía que la humanidad tiene que pasar del modelo de la verde pradera del *cowboy*, que no se acababa nunca y donde parecía que todo estaba a nuestra disposición, al modelo nave espacial Tierra, en el que has crecido ya mucho y tienes unos recursos finitos. Somos 7.900 millones y tenemos que aprender a gestionar los residuos, reciclarlos y cerrar los ciclos, porque estamos en una nave espacial aislada en medio del cosmos. El sistema económico que tenemos se ha constituido en los dos

siglos de expansión que ha habido desde la primera revolución industrial. Pero ahora las bases materiales que han permitido la expansión están llegando a su fin, tanto por los insumos que se necesitan (materias primas energéticas y materiales) como por los residuos que se generan y causan problemas ambientales que atentan contra nuestra propia existencia, como el cambio climático. Hay que aceptar que la fase expansiva terminó. Muchas veces digo que el capitalismo es una fase más de la evolución histórica de la humanidad. No tenemos que destruirlo, sino superarlo, madurar. Si nos empeñamos en seguir creciendo en una situación en la que esto es imposible, vamos a colapsar.

El papel de la ciencia

¿Qué rol juega la ciencia en este escenario?

En nuestras sociedades está muy extendido el mito del progreso, que hace que el hueco que antes ocupaba la religión en la sociedad ahora lo ocupe la ciencia. Esto me parece peligroso, porque la ciencia no es una religión, es una cosa completamente distinta. Nos ha hecho progresar, pero también nos ha hablado de límites. No solo de límites ecosistémicos, también de que no podemos superar la velocidad de la luz o evitar que la entropía crezca. En el discurso neoliberal, esta parte de la ciencia desaparece. La ciencia aparece solamente como proveedora salvífica, solucionadora de todos los problemas. Pero la ciencia también dice que hay cosas que no se pueden hacer, y ocultar esto puede provocar un desencanto que puede llevar a posiciones muy acientíficas.

Si la ciencia no puede garantizar el mito del progreso y nos habla de límites, ¿qué papel le queda?

La ciencia siempre ha tenido el mismo papel: es una herramienta de conocimiento y capacidad. ¿Qué tiene que proporcionar la ciencia? Una guía para hacer las cosas, pero primero tenemos que saber qué queremos hacer. Las decisiones son de carácter político en el sentido de *polis*, la ciudad, lo que interesa a los ciudadanos; no en sentido partidista. Qué queremos hacer es algo que tiene que decidir la ciudadanía, pero tiene que hacerlo sobre la base de una información que la ciencia le puede proporcionar.

“La ciencia no siempre provee soluciones, al contrario, dice que hay cosas que no se pueden hacer”

¿La solución es la vuelta a lo local?

Eso es una parte de la solución. El modelo actual se basa en la globalización, que ha sido posible por la abundancia de energía barata. El fin del petróleo barato lleva forzosamente a lo contrario: la relocalización. Transportar mercancías elaboradas en China ya no va a salir a cuenta. De hecho, ahora se empieza a decir que Europa se plantea hacer su propia fábrica de microchips o la renacionalización de ciertas actividades: son avances en la dirección de la relocalización. El regreso a lo local es inevitable en ese sentido. Eso no quiere decir que haya una destrucción del comercio internacional, pero sí que tendrá que especializarse en determinadas materias con alto valor añadido.

**Ana Iglesias (Ayudas CSIC-Fundación BBVA de Comunicación Científica)
y Eduardo Actis (CSIC Cultura Científica)**